

РЕФЕРАТ

Отчет 881 с., 104 рис., 26 табл., 8 приложений, 878 источников (в разделах отчета)

НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГА, ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ, ВОСПРОИЗВОДСТВО НАУЧНО- ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ

Объектом исследования является научно-инновационное пространство Санкт-Петербурга как составляющая мировой науки и российской экономики.

Цель работы – разработка принципов осуществления системного процесса перехода Санкт-Петербурга к инновационной экономике, на базе обеспечения научно-инновационного воспроизводства, возобновления научно-инновационного процесса.

В процессе этапа работы, выполненного в 2014 году, были выявлены основные, наиболее перспективные тренды развития отраслей мировой науки на период до 2030 года, из которых выделены направления развития науки в Санкт-Петербурге, соответствующих приоритетам развития Санкт-Петербурга, установленным Концепцией развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года, и научно-инновационному потенциалу Санкт-Петербурга (в части, соответствующей научно-инновационному потенциалу учреждений ФАНО России, подведомственных до 2014 года РАН).

В результате исследования доказана безальтернативность трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга как единственного механизма, позволяющего обеспечить требуемый для адекватного современным условиям роста качества жизни населения Санкт-Петербурга, а также обоснованы наиболее перспективные приоритетные направления развития науки в Санкт-Петербурге.

Основные императивные характеристики наиболее перспективных приоритетных направлений развития науки в Санкт-Петербурге – соответствие трендам развития мировой науки и кадровому и финансово-экономическому потенциалам, необходимым для обеспечения эффективной организации научно-инновационной деятельности в соответствии с выделенными направлениями развития науки в Санкт-Петербурге.

Основные результаты этапа научно-исследовательской работы, выполненного в 2014 году, будут использованы для завершения в 2015 году исследований возможностей использования научно-инновационного потенциала Санкт-Петербурга (в части остальных научных учреждений ФАНО России, отраслевой и вузовской науки) в целях обеспечения эффективной деятельности по реализации наиболее перспективных приоритетных

направлений развития науки в Санкт-Петербурге, а также для разработки методологических основ трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга и методической основы адаптации системы управления инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга в контексте указанной трансформации и для выполнения исследований в рамках реализации задачи по формированию программы научных исследований, а также практических рекомендаций по адаптации системы управления инновационно-инвестиционной деятельностью и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга.

Эффективность выполненных исследований определяется участием в их проведении научных кадров высшей квалификации научных подразделений Санкт-Петербургского научного центра РАН (в том числе – 11 членов РАН, 41 ведущий доктор наук по соответствующим направлениям) с привлечением в качестве экспертных институтов объединенных научных советов Президиума Санкт-Петербургского научного центра РАН, возглавляемых академиками РАН.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зам. руководителя темы

Главный ученый секретарь СПбНЦ РАН,
д.э.н., проф.

Г.В. Двас (введение, заключение)

Научные руководители разделов:

академик

академик

академик

академик

чл.-корр. РАН

академик

академик

академик

академик

Р.А. Сурис (раздел 1)

Ф.Г. Рутберг (раздел 2)

И.В. Горынин (раздел 3)

В.Я. Шевченко (раздел 4)

Р.М. Юсупов (раздел 5)

В.А. Румянцев (раздел 6)

Ю.В. Наточин (раздел 7)

С.Г. Инге-Вечтомов (раздел 8)

Н.Н. Казанский (раздел 9)

Ответственные исполнители разделов:

с.н.с., д.ф.-м.н.

с.н.с., к.т.н

с.н.с., к.х.н.

в.н.с., к.х.н.

с.н.с., к.т.н.

в.н.с., д.ф.-м.н.

с.н.с., к.б.н.

с.н.с., к.б.н.

зав. НИО СПбНЦ РАН, к.и.н.

И.А. Митропольский (раздел 1)

С.М. Счисляев (раздел 2)

Т.Ф. Пименова (раздел 3)

Т.А. Цыганова (раздел 4)

В.С. Марков (раздел 5)

С.А. Кондратьев (раздел 6)

Л.А. Джапаридзе (раздел 7)

Ю.Н. Бубличенко (раздел 8)

Е.А. Иванова (разделы 9, 10)

Исполнители разделов:

гл.н.с., д.ф.-м.н.

в.н.с., к.ф.-м.н.

гл.н.с., д.ф.-м.н.

гл.н.с., д.ф.-м.н.

гл.н.с., д.ф.-м.н.

гл.н.с., д.ф.-м.н.

гл.н.с., д.ф.-м.н.

гл.н.с., д.ф.-м.н.

с.н.с.

с.н.с.

г.н.с., д.т.н., профессор

с.н.с., к.ф.-м.н.

д.т.н., профессор

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

д.т.н., проф.

д.т.н., проф.

н.с.

д.т.н., проф.

к.т.н., доцент

в.н.с., д.физ.-мат. н.

гл.н.с., д.х.н, проф.

в.н.с., д.х.н, проф.

А.А. Андрианов (1.3)

А.К. Власников (1.4)

М.А. Всемирнов (1.1)

Л.Е. Голуб (1.5)

Н.Р. Ихсанов (1.2)

Ю.А. Копытенко (1.7)

Г.С. Соколовский (1.6)

А.А. Безбородов (2.1–2.6)

О.В. Никифорова (2.1–2.6)

Г.П. Карзов (3.1)

Н.В. Лукашева (3.3)

О.П. Орлов (3.4)

Ю.В. Петров (3.2)

В.Н. Половинкин (3.3,3.4)

А.А. Попович (3.3)

И.Д. Сибаров (3.1–3.4)

В.И. Смирнов (3.2).

Б.В. Фармаковский (3.3)

Г.К. Ельяшевич (4.1–4.9)

А.А. Малыгин (4.1–4.9)

В.П. Толстой (4.1–4.9)

г.н.с., д.т.н., проф.
в.н.с., д.т.н.
г.н.с., д.ф.-м.н.
н.с.

в.н.с., д.ф.-м.н.
в.н.с., д.х.н.
с.н.с., к.ф.-м.н.
с.н.с., д.г.н.

гл.н.с., д.б.н., проф.
гл.н.с., чл.-корр. РАН
н.с., к.б.н.
в.н.с., к.ф.-м.н.
н.с.
с.н.с., д.ф.-м.н.
гл.н.с., академик
гл.н.с., д.м.н., проф.
в.н.с., д.б.н.
в.н.с., д.б.н.
гл.н.с., чл.-корр. РАН

в.н.с., к.б.н.
н.с.

гл.н.с., д.э.н.
с.н.с., к.б.н.
в.н.с., д.б.н.
в.н.с., д.б.н.
с.н.с., к.г.н.

гл.н.с., д.филол.н.
в.н.с., к.соц.н.
н.с.
с.н.с., к.и.н.
гл.н.с., чл.-корр.
гл.н.с., чл.-корр.
вед.н.с., к.ф.н.
н.с.
гл.н.с., д.и.н.
гл.н.с., д.и.н.
гл.н.с., д.б.н., д.филол.н.

Соисполнители разделов:

в.н.с., д.ф.-м.н.
зав. лаб., д.б.н.
в.н.с., д.б.н.
зав. лаб., к.ф.-м.н.

В.И. Воробьев (5.3)
С.В. Кулешов (5.1)
А.Л. Тулупьев (5.2)
Т.В. Сидоренко (5.1–5.3)

Ю.А. Копытенко (6.1–6.8)
Л.Н. Крюков (6.1–6.8)
Л.П. Романюк (6.1–6.8)
В.Н. Рыбакин (6.1–6.8)

Н.Б. Ананьева (7.7)
В.Н. Анисимов (7.4)
Л.В. Бондаренко (7.7)
А.К. Власников (7.6)
О.А. Мацкевич (7.1–7.7)
И.А. Митропольский (7.6)
В.М. Моисеенко (7.1)
О.М. Моисеева (7.2)
Е.Л. Паткин (7.3)
А.Н. Суворов (7.7)
Л.П. Филаретова (7.5)

Н.И. Абрамсон (8.1.3)
Н.Ю. Быстрова (8.1–8.5)
В.К. Донченко (8.5)
А.А. Максимов (8.2)
М.И. Орлова (8.1.1, 8.1.4–8.1.12)
С.Я. Резник (8.1.2)
Л.Л. Сухачева (8.4)

К.А. Баршт (9.1.3)
С.И. Бояркина (9.2.1)
А.А. Воронова (9.1–9.2, 10.1–10.3)
Р.В. Гадамашко (9.1.1)
Е.В. Головкин (9.1.2)
И.И. Елисеева (9.2.1)
Т.В. Козловская (9.1.1, 9.2.2)
Л.Г. Николаева (9.1–9.2, 10.1–10.3)
И.Ф. Попова (9.1.4)
Н.Н. Смирнов (9.1.6)
Т.В. Черниговская (9.1.5)

В.Т. Ким (1.3, ФГБУ «ПИАФ»)
Г.Г. Полянская (7.7, ИНЦ РАН)
С.Ю. Синев (8.3, ЗИН РАН)
Г.А. Феофилов (1.3, СПбГУ)

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 11 |
| Фундирование задачи настоящего исследования в 2014 году исследованием ключевых факторов экономического развития Санкт-Петербурга на средне- и долгосрочную перспективы..... | 20 |
| РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 27 |
| 1 Научно-технический потенциал Санкт-Петербурга и наиболее перспективные направления его развития в области физико-математических наук..... | 27 |
| 1.1 Математика..... | 27 |
| 1.2 Астрономия и астрофизика..... | 39 |
| 1.3 Физика элементарных частиц..... | 46 |
| 1.4 Ядерная физика..... | 61 |
| 1.5 Физика конденсированного состояния..... | 75 |
| 1.6 Оптика и лазерная физика..... | 80 |
| 1.7 Геофизика и радиофизика..... | 91 |
| 2 Основные тенденции современного развития энергетики в Санкт-Петербурге..... | 102 |
| 2.1 Физико-химические основы энергетической утилизации углеродосодержащих отходов..... | 102 |
| 2.2 Физика и техника достижения максимальной плотности энергии и температуры в газах высоких давлений, а также разработка новых принципов коммутационной аппаратуры..... | 108 |
| 2.3 Технологии плазменной газификации биомассы, включая создание оборудования. Разработка и создание плазменных газификаторов биомассы и создание на их базе автономных энергетических систем и накопителей энергии (в синтез-газе)..... | 111 |
| 2.4 Плазмохимия, в частности, конверсия метана плазменными методами с целью получения жидких синтетических топлив..... | 108 |
| 2.5 Физика мощных импульсных разрядов мегаамперного диапазона в сверхплотных средах, в сверхсильных электрических и магнитных полях и разработка мощных источников ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения, импульсных генераторов плазмы с энергией | 117 |
| 2.6 Физические процессы при генерации низкотемпературной плазмы в плазмотронах переменного тока мощностью до 3,0 МВт при горении сильноточных дуг в дозвуковых и сверхзвуковых газовых потоках и | |

| | |
|--|-----|
| приэлектродных явлений, создание мощных генераторов низкотемпературной плазмы различного назначения, переработка органосодержащих материалов в интересах энергетики и плазмохимии..... | 120 |
| 2.7 Разработка и создание электромашинных маховичных накопителей энергии для стабилизации работы высоковольтных электрических сетей..... | 121 |
| 3 Анализ тенденций, определение наиболее перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований, оценка научно-технического потенциала в области материаловедения, механики, прочности..... | 125 |
| 3.1 Конструкционная прочность и механика разрушения..... | 128 |
| 3.2 Экстремальные состояния материалов и конструкций. Структурные превращения в сплошных средах..... | 142 |
| 3.3 Конструкционные наноматериалы..... | 160 |
| 3.4 Подходы и перспективы развития в машиностроении..... | 230 |
| 4 Развитие фундаментальных научных исследований в области химических наук..... | 278 |
| 4.1 Анализ состояния и перспективных направлений развития химии и технологии неорганических материалов вида «ядро – оболочка» на ближайшие 10–15 лет..... | 278 |
| 4.2 Обзор перспектив развития химии в области создания защитных биостойких покрытий | 284 |
| 4.3 Анализ состояния и перспективных направлений развития химии углеродных материалов | 287 |
| 4.4 Исследования явления сверхпроводимости для электроэнергетики и электротехники..... | 291 |
| 4.5 Ядерная медицина в Санкт-Петербурге. Синтез соединений, меченных короткоживущими радиоактивными изотопами, для использования в радионуклидной диагностике..... | 294 |
| 4.6 Исследования в области медицинской химии. Мишень-ориентированные соединения..... | 300 |
| 4.7 Разработка энергосберегающих технологий для создания высокоэффективных устройств современной энергетики..... | 302 |
| 4.8 Анализ тенденций развития фундаментальных исследований в области полимерной органической химии..... | 307 |
| 4.9 Анализ публикационной активности научных организаций Санкт-Петербурга в области химических наук..... | 313 |

| | |
|---|-----|
| 5 Формирование и развитие информационной инфраструктуры инновационного развития Санкт-Петербурга..... | 322 |
| 5.1 Создание методологии и архитектуры автоматизированного аналитического мониторинга научно-технических и инновационных ресурсов в сети Интернет... | 325 |
| 5.2 Комбинированная логико-вероятная графическая методология исследований и моделирования сложных систем в информатике..... | 337 |
| 5.3 Разработка интеллектуальной системы обмена инновационными решениями на базе Web-технологий..... | 355 |
| 6 Развитие фундаментальных научных исследований в области наук о Земле..... | 367 |
| 6.1 Разработка методов оценки биогенной нагрузки на крупные водоемы северо-запада России с использованием аэрокосмической информации о структуре подстилающей поверхности водосбора..... | 371 |
| 6.2 Оценка основных тенденций изменения качества воды и состояния водных ресурсов Ладожского озера и других водных объектов Северо-Запада России на основе использования методов математического моделирования..... | 376 |
| 6.3 Прогноз уровня воды водной системы «Ладога-Нева-Невская губа» в условиях климатических изменений..... | 380 |
| 6.4 Разработка научных основ предотвращения токсичного загрязнения воды в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов..... | 383 |
| 6.5 Оценка размеров наночастиц в естественных водных объектах и возрастания их биологической активности в связи с уменьшением размеров..... | 388 |
| 6.6 Создание ультразвуковых технологий для борьбы с цианобактериальным цветением водоемов..... | 392 |
| 6.7 Разработка основ практического использования альгицидных, антимикробных, фунгицидных, ароматических и других свойств низкомолекулярных органических соединений водных растений..... | 396 |
| 6.8 Разработка теории использования ультразвуковых кавитационных технологий при водоподготовке и водосбросе..... | 402 |
| 7 Развитие фундаментальных научных исследований в области биологии и медицины в Санкт-Петербурге..... | 410 |
| 7.1 Анализ перспективных исследований в области онкологии, проводимых в Санкт-Петербурге..... | 415 |
| 7.2 Перспективные направления развития фундаментальных исследований применительно к современным потребностям кардиологии..... | 448 |

| | |
|---|-----|
| 7.3 Эпигенетические и эпигеномные механизмы возникновения и наследования эколого-зависимых нарушений здоровья человека..... | 465 |
| 7.4 Старение и рак: от молекулярных механизмов к средствам профилактики..... | 490 |
| 7.5 «Стресс»..... | 507 |
| 7.6 Ядерная медицина..... | 518 |
| 7.7 Коллекции как главный инструмент и информационная основа фундаментальных биологических исследований..... | 529 |
| 8 Человек как фактор эволюции. Влияние природопользования на экосистемы Северо-Запада России..... | 572 |
| 8.1 Экологическая генетика биологических инвазий..... | 575 |
| 8.2 Анализ данных многолетнего мониторинга экосистем континентальных водоемов..... | 595 |
| 8.3 Инновационное развитие Санкт-Петербургской энмотаксономической школы и ее роль изучении природных экосистем..... | 605 |
| 8.4 Анализ воздействия природных и антропогенных факторов на экологическое состояние и биотические компоненты экосистемы Невской губы и восточной части Финского залива на основе использования современных космических технологий..... | 611 |
| 8.5 Перспективы развития научных исследований в области рационального природопользования..... | 625 |
| 9 Основные тенденции современного развития гуманитарных и общественных наук в Санкт-Петербурге..... | 670 |
| 9.1 Развитие фундаментальных научных исследований в области гуманитарных наук..... | 670 |
| 9.2 Развитие фундаментальных научных исследований в области общественных наук..... | 732 |
| 10 Научный потенциал петербургских институтов Российской академии наук..... | 753 |
| 10.1 Общая характеристика научного потенциала институтов Российской академии наук, расположенных в Петербурге..... | 754 |
| 10.2 Научные кадры..... | 758 |
| 10.3 Затраты на научные исследования и разработки..... | 784 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 815 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А..... | 817 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б..... | 828 |

| | |
|-------------------|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ В..... | 835 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г..... | 845 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д..... | 854 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Е..... | 860 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Ж..... | 864 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ И..... | 866 |

ВВЕДЕНИЕ

Перевод экономики страны на инновационные рельсы развития в условиях глобализации и мирового финансового кризиса обуславливает необходимость разработки приоритетов и сценариев научно-инновационного развития нашего государства и регионов на ближайшую и отдаленную перспективу. Объективная необходимость перехода страны на путь инновационной экономики вытекает как из проблемы вхождения в глобализирующийся мир с высоким уровнем инновационности экономики, так и исходя из исчерпания других средств роста экономики и повышения производительности труда.

Одной из основных задач модернизации России является обеспечение инновационного типа развития, курс на который формируется в настоящее время. Наука, безусловно, является ключевым фактором инновационного развития. Научно-инновационный ресурс может стать ведущим средством развития для многих регионов и градообразующим объектом.

Ускорение смены технологий ведет к изменению отраслевой структуры, направлений развития экономики в мире, а отсюда направлений обеспечения конкурентности. Причем, справедливо отмечается, что речь идет об изменениях всей экономической системы – ее технологической базы, информатизации экономики и образования, сферы потребления, стандартизации, организации бизнеса, управления, а также культуры общества (Белоусов А.Р. Сценарии экономического развития России на пятнадцатилетнюю перспективу // Проблемы прогнозирования. 2006. №1. С. 9).

Инновационная экономика реализуется через триединство инноваций: технические технологии так называемой новой экономики во всех сферах деятельности (характеризующиеся большим вкладом человеческого капитала по сравнению с материальными элементами), организационно-управленческие и институциональные технологии как в качестве поддерживающих, сопровождающих, так и в виде самостоятельных инноваций, или инновационный менеджмент и инновационная инфраструктура, а также инновационная культура.

Необходимо учитывать *принцип системного освоения фундаментальных научных идей и инноваций* – в рамках триединства «технология–управление–культура», в условиях взаимодействия звеньев «наука-бизнес-власть-общество», по иерархии организационного построения субъектов управления социально-экономическим развитием и научно-инновационным воспроизводством. Институциональное развитие инновационной экономики и общества должно строиться на основе форм и механизмов развития, тесного

взаимодействия (взаимодополнения) механизма и организации, перехода к институциональной экономике и эволюционной экономике.

Эволюционный подход к изменению понимания научно-инновационного развития в соответствии с развитием технологической базы, рыночных основ, постиндустриализации, демократических перемен приводит к осмыслению сути инновационной экономики. В частности, в технологической сфере произошла трансформация движения научно-технического прогресса как постепенного формирования новых систем машин на новых технологических принципах к научно-технической революции как становлению череды ускоряющейся смены современных технологических укладов, а далее к инновационной экономике. При этом происходит все большее участие всех субъектов научно-инновационного и производственного процесса – на всех этапах процесса и во всех видах работ.

Можно говорить о формировании новой модели расширенного воспроизводства, в которой инновационное развитие, научно-инновационный процесс являются базой, а воспроизводство информации (в форме знаний, объектов интеллектуальной собственности) – главной составляющей воспроизводства. Как и любая иная, описываемая модель воспроизводства может реализовываться эффективно, исключительно опираясь на конкурентные преимущества, сохранение, развитие и рациональное использование которых должно становиться приоритетами развития страны, в том числе, развития фундаментальной и прикладной науки, всего научно-инновационного комплекса.

Другим важным аспектом определения приоритетов развития научных направлений является необходимость учета стратегических проблем развития страны, таких как – реакция на демографический вызов, обеспечение безопасности, обеспечение глобальной конкурентоспособности, борьба с коррупцией, обеспечение независимости и геополитической стабильности. Также важным является учет стратегических приоритетов развития страны в целях поддержания единого социально-экономического пространства, роли в этом приоритетов инновационного развития регионов, межрегионального взаимодействия.

21 мая 2006 года Президент В.В. Путин утвердил «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации» «Перечень критических технологий Российской Федерации». К числу приоритетных направлений были отнесены:

- Безопасность и противодействие терроризму
- Живые системы
- Индустрия наносистем и материалы

- Информационно-телекоммуникационные системы
- Перспективные вооружения, военная и специальная техника
- Рациональное природопользование
- Транспортные, авиационные и космические системы
- Энергетика и энергосбережение.

34 технологии были признаны критическими.

Очевидно, что принятые приоритетные направления и критические технологии, конкретизирующие нацеленность государства на перспективу развития, реализуются в рамках конкретных регионов¹. В настоящее время реализовано достаточно большое количество исследовательских проектов, посвященных различным аспектам инновационного развития регионов. Вместе с тем, абсолютное большинство опубликованных работ не учитывает фактора разнородности регионов по научно-техническому потенциалу.

При этом, с одной стороны, известно, что субъекты Российской Федерации существенно различаются по своему экономическому, природно-ресурсному и научно-технологическому потенциалу, по уровню социально-экономического развития. Такая ситуация принципиально отличается от европейской, где считается, что различия в социально-экономическом состоянии регионов не должны превышать 25 %.

С этой точки зрения, по критерию концентрации научно-технического потенциала в регионах и его использованию регионы можно отнести к одному из трех типов – с высокой, средней и низкой концентрацией научно-технического потенциала. В регионах первого типа (к ним чаще всего относятся и промышленно развитые регионы) научно-технический потенциал имеет региональное, межрегиональное, федеральное и международное значение. В таких регионах складывается многоотраслевая экономика, для которой научно-технический потенциал является фактором развития. В регионах второго типа научно-технический потенциал имеет преимущественно региональное значение. В экономике таких регионов, как правило, 2-3 градообразующие отрасли, для которых научно-технический потенциал является поддерживающим. Регионы третьего типа наиболее нуждаются в научно-технической и инновационной поддержке.

С другой стороны, как показывает опыт развития мировых научных кластеров, при достижении концентрации научно-технического потенциала на отдельных территориях (из числа относящихся к первому типу) неких пороговых значений (индивидуальных, параметры которых различаются для разных кластеров), происходят не только

¹ Под регионом здесь и далее (при отсутствии дополнительных оговорок) понимается субъект Российской Федерации

количественные, но и качественные изменения механизмов воздействия этого потенциала на эффективность развития соответствующей территории.

Очевидно, что для России одним из таких научных кластеров является Санкт-Петербург – крупнейший научно-образовательный центр страны, в котором сосредоточено 11% ее научного потенциала. В учреждениях науки и образования работают около 14% всех российских исследователей. В Санкт-Петербурге учится более 8% всех российских студентов, 13% аспирантов и 15% докторантов. В городе функционируют 329 научных организаций, в том числе 49 научных организаций Российской академии наук и других академий, имеющих государственный статус; 190 отраслевых научных организаций; 12 государственных научных центров; 78 высших учебных заведений, осуществляющих научную деятельность. В научных организациях города занято более 170 тысяч научных сотрудников, в том числе 5,4 тысячи докторов наук; более 18 тысячи кандидатов наук. Около 300 тысяч жителей города связано с деятельностью научных организаций. Система высшего и среднего профессионального образования включает 48 государственных гражданских вузов, 18 военных вузов, 46 негосударственных вузов, 80 учреждений среднего профессионального образования. В ведении Комитета по науке и высшей школе находится также 75 учреждений дополнительного профессионального образования. Численность обучающихся студентов составляет более 520 тысяч человек. Преподавательский состав вузов, техникумов и колледжей насчитывает около 30 тысяч человек, в том числе 3,7 тысяч докторов наук, более 12 тысяч кандидатов наук [http://www.gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/c_science/itogy2006].

При этом необходимо отметить, что Санкт-Петербургский научный кластер имеет существенное отличие от других российских научных кластеров, во многом влияющее на организационно-правовые механизмы формирования, поддержки и развития таких кластеров. Это отличие заключается в том, что в Санкт-Петербурге законодательно закреплено концентрирование на одном уровне управления полномочий как по вопросам регионального значения, так и по вопросам местного значения; в иных же кластерах территориальные органы управления обладают исключительно муниципальными полномочиями².

Вместе с тем, практически отсутствуют исследования имманентных механизмов и

² Помимо Санкт-Петербурга региональными полномочиями обладают города федерального значения Москва и Севастополь, но Севастополь не является научным кластером, а московский научный кластер располагается на территории двух субъектов Федерации – Москвы и Московской области, из которых только Москва обладает полномочиями по вопросам, относимым российским законодательством к вопросам местного значения.

параметров взаимного влияния трансформации научно-инновационного пространства и устойчивого технологического развития региона с наивысшей концентрацией как научно-технического потенциала, так и управленческих компетенций.

Регионы с высокой концентрацией научно-технического, образовательного и развитого интеллектуального потенциала играют «локомотивную» роль в деле эффективного развития российской экономики за счет активизации инновационной деятельности. Научно-технический и образовательный потенциал таких регионов имеет региональное, межрегиональное, федеральное и международное значение. Именно на эти регионы приходится «львиная» доля нагрузки по решению государственных задач по развитию науки, технологий и техники.

Особенности воспроизводственных процессов в научно-инновационной сфере регионов такого типа состоят в следующем:

- Во-первых, высокий многообразный потенциал такого региона создает предпосылки для обеспечения полного цикла воспроизводственного процесса во времени (все стадии по конкретной инновации);
- Во-вторых, многообразие потребителей инноваций создает предпосылки для обеспечения широкого «расползания» (распространения) получаемых инновационных результатов на различных стадиях инновационного процесса в пространстве (в пределах региона);
- В-третьих, многообразие инновационного потенциала и многообразие «потребителей» инновационных результатов создают предпосылки для «выхода» инновационных процессов за пределы в межрегиональное и международное пространство.

Рассмотрим ситуацию с определением приоритетов в регионах I-го типа. Итак, на государственном уровне утверждены: 8 приоритетных направлений и 34 критических технологий, относящиеся к этим приоритетным направлениям и как бы конкретизируя их. Эти направления и технологии, как говорилось выше, имеют один общий ранг №1 «Государственные приоритет». Пока на государственном уровне провозглашается «название» стратегических целей, на которые должно ориентироваться развитие науки, технологий и техники. Но это «развитие» должно быть «прописано» в конкретных регионах по месту расположения научно-технического и образовательного потенциала государства.

Поэтому следующим шагом на государственном уровне должна быть дальнейшая конкретизация государственных приоритетов и перенос их на региональный уровень. Это входит в задачи региональной политики на федеральном уровне. Формирование

региональной политики позволит более рационально использовать потенциалы регионов, интегрировать их усилия на решении крупных задач, оперативно использовать получаемые результаты и рационально использовать бюджетные ассигнования. Естественно, эта политика должна формироваться в итеративном процессе с участием регионов. Другими словами, в условиях квазисформированности федеральной региональной инновационной политики следующим этапом должно стать формирование приоритетов на региональном уровне. На этом этапе происходит дальнейшее дезагрегирование федеральных приоритетов и определение уже более конкретных направлений разработки конкурсных (или внеконкурсных) программ или проектов для получения бюджетного (федерального для фундаментальных и регионального – для прикладных исследований) и внебюджетного (для прикладных исследований) финансирования.

На основании информации научных, научно-исследовательских и образовательных организаций формируется блок приоритетной тематики (направления, темы, технологии, техника и др.) *государственного уровня, привязанный к конкретному региону*. Организации также представляют свои предложения по перспективным темам научно-инновационной области, которые не вошли в число финансируемых из бюджета, но результаты могут быть отнесены к государственному уровню (мировой уровень и выше) и (или) могут быть использованы в регионе.

Регион со своей стороны формирует предложения «региональной заинтересованности» в новых достижениях, которые важны для комплексного и конкурентоспособного развития региона. Заметим, что часть этих предложений может совпасть с интересами научно-технического комплекса. В процесс формирования приоритетов должна включиться экспертиза. Очевидно, на государственном и региональных уровнях необходимо создавать систему независимой экспертизы (как это сделано в других странах), чтобы преградить путь любому «лоббированию» частных интересов. По результатам экспертизы могут быть сформированы три блока:

- блок приоритетов, признанных на государственном уровне в настоящее время;
- блок перспективных приоритетов, выдвигаемых «снизу»;
- блок перспективных региональных приоритетов, выдвигаемых регионами дополнительно к государственным, которые также могут быть на уровне государственных приоритетов, поскольку должны обеспечивать конкурентоспособность региона.

Из множества проблем и задач необходимо выбрать приоритетные. И при выборе приоритетов регион должен руководствоваться:

- государственными приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники (ориентация на мировой уровень);
- государственными критическими технологиями (ориентация на конкурентоспособность региона);
- потенциальными возможностями региона;
- приоритетными факторами инновационного развития региона;
- интересами развития региона, которые являются «ведущим принципом» принятия решения о приоритетности, предыдущие имеют характер ориентиров или ограничений.

При этом необходимо подчеркнуть, что научно-техническая сфера и образовательная деятельность являются для регионов первого типа такими же «градообразующими отраслями» экономики региона, как и отрасли промышленности. Регион заинтересован, чтобы конечная продукция всех сфер жизнедеятельности региона была конкурентоспособна и не только в своем отечестве, но и за его пределами.

Исходя из изложенного возможные приоритеты региона, на базе которых должны формироваться критерии выбора приоритетных направлений использования и развития его научно-технического потенциала, могут быть сгруппированы следующим образом:

- осуществление (или завершение) полного инновационного цикла включая формирование непрерывного процесса (генерация знаний – трансформация знаний в опытные разработки – коммерциализация технологий). На всех стадиях инновационного цикла должны использоваться механизмы определения приоритетных направлений на основе совокупности критериев, позволяющие обеспечить принятие совместных решений представителями государства, бизнеса, промышленности и научного сообщества для использования «готовых инновационных продуктов» в различных жизненно важных сферах региона (промышленность, транспорт, строительство, сфера услуг, социальная сфера, природоохранная сфера и др.);
- осуществление (или завершение) полного цикла инновационного процесса с использованием «готовых инновационных продуктов» в других регионах, в других странах;
- удовлетворение потребностей в инновациях региональных предприятий и организаций всех сфер жизнедеятельности региона для обеспечения их конкурентоспособности на отечественном и зарубежном рынке;
- перспективность исследований, разработок и инноваций для региона;

- угроза недостижимости важных государственных результатов вследствие проявившихся «узких звеньев» в среде ресурсного обеспечения;

- возможность выхода на международное сотрудничество для получения научных достижений мирового уровня;

- конкурентоспособность региона в условиях общей глобализации;

- занятие лидирующих позиций в стране и на мировом уровне и др.

На сегодняшний день в Санкт-Петербурге единственным институтом, отвечающим одновременно требованиям независимости, максимальной компетентности и междисциплинарности, и в силу этого способным осуществлять функции организации (а в ряде случаев – и проведения) независимой экспертизы направлений научно-инновационного развития Санкт-Петербурга на предмет отнесения их к числу приоритетных, является Президиум Санкт-Петербургского научного центра РАН, в который входят ведущие специалисты (члены РАН и ведущие доктора наук), работающие в организациях как государственных, имеющих различную подведомственность, так и частных, и представляющих все отрасли науки, представленные в Санкт-Петербурге.

С учетом этого фактора, а также учитывая, что целью настоящего исследования является разработка принципов осуществления системного процесса перехода Санкт-Петербурга к инновационной экономике, а, в свою очередь, основой такого перехода является обеспечение научно-инновационного воспроизводства, возобновления научно-инновационного процесса, всех видов необходимых ресурсов и институционального окружения, определена следующая последовательность задач, подлежащих выполнению силами научных подразделений Санкт-Петербургского научного центра РАН с привлечением в качестве экспертных институтов объединенных научных советов Президиума Санкт-Петербургского научного центра РАН:

- Выявление основных, наиболее перспективных трендов развития соответствующих отраслей мировой науки на период до 2030 года.

- Выявление направлений развития науки в Санкт-Петербурге, соответствующих трендам развития мировой науки, приоритетам развития Санкт-Петербурга, установленным Концепцией развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года, и научно-инновационному потенциалу Санкт-Петербурга.

- Разработка методологических основ трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга и методической основы адаптации системы управления инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга в контексте указанной трансформации;

– Формирование программы научных исследований, а также практических рекомендаций по адаптации системы управления инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга.

– Разработка проекта государственной программы трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга.

В 2014 году были выполнены исследования по реализации задачи 1, а также задачи 2 в части, соответствующей научно-инновационному потенциалу учреждений ФАНО России, подведомственных до 2014 года РАН.

В 2015 году предполагается завершение исследований в рамках задачи 2 (в части остальных научных учреждений ФАНО России, отраслевой и вузовской науки), а также выполнение исследований в рамках реализации задачи 3 и частично – задачи 4 (без окончательного обоснования ресурсного обеспечения).

Завершение всего комплекса исследований планируется в 2016 году.

Фундирование задачи настоящего исследования в 2014 году исследованием ключевых факторов экономического развития Санкт-Петербурга на средне- и долгосрочную перспективы

В целях выявления степени влияния различных факторов, определяющих экономическое развитие Санкт-Петербурга на ближайшие 10-15 лет, был выполнен корреляционный экспресс-анализ зависимости роста валового регионального продукта от изменения ключевых факторов развития несколько большего таксона – совокупности субъектов Северо-Западного федерального округа (СЗФО).

Как показывают многочисленные опросы руководителей действующих в Санкт-Петербурге предприятий и потенциальных инвесторов, возможность обеспечения предприятий трудовыми ресурсами является наиболее значимым фактором, влияющим на принятие инвестиционных решений. На рисунках 1-3 приведены данные по всем субъектам, входящих в СЗФО, за период, прошедший между двумя всесоюзными переписями населения – с 2002 по 2010 годы. Как видно из представленных графиков, коэффициент корреляции между двумя рассматриваемыми параметрами (величиной ВРП и численностью населения, в значительной степени определяющей трудовой потенциал), характеризующими динамику развития достаточно высок – 0,67, что однозначно указывает на усиление фактора оптимизации расселения на эффективность экономического развития региона.

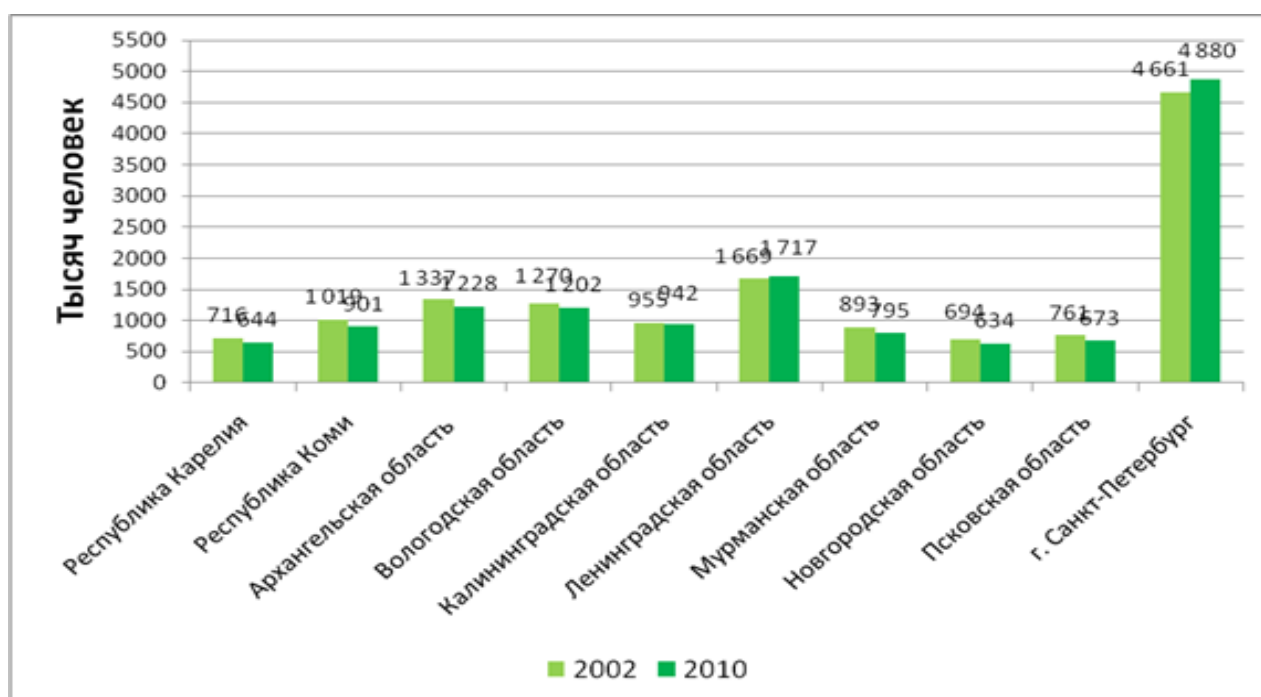


Рисунок 1 – Численность населения регионов Северо-Западного федерального округа

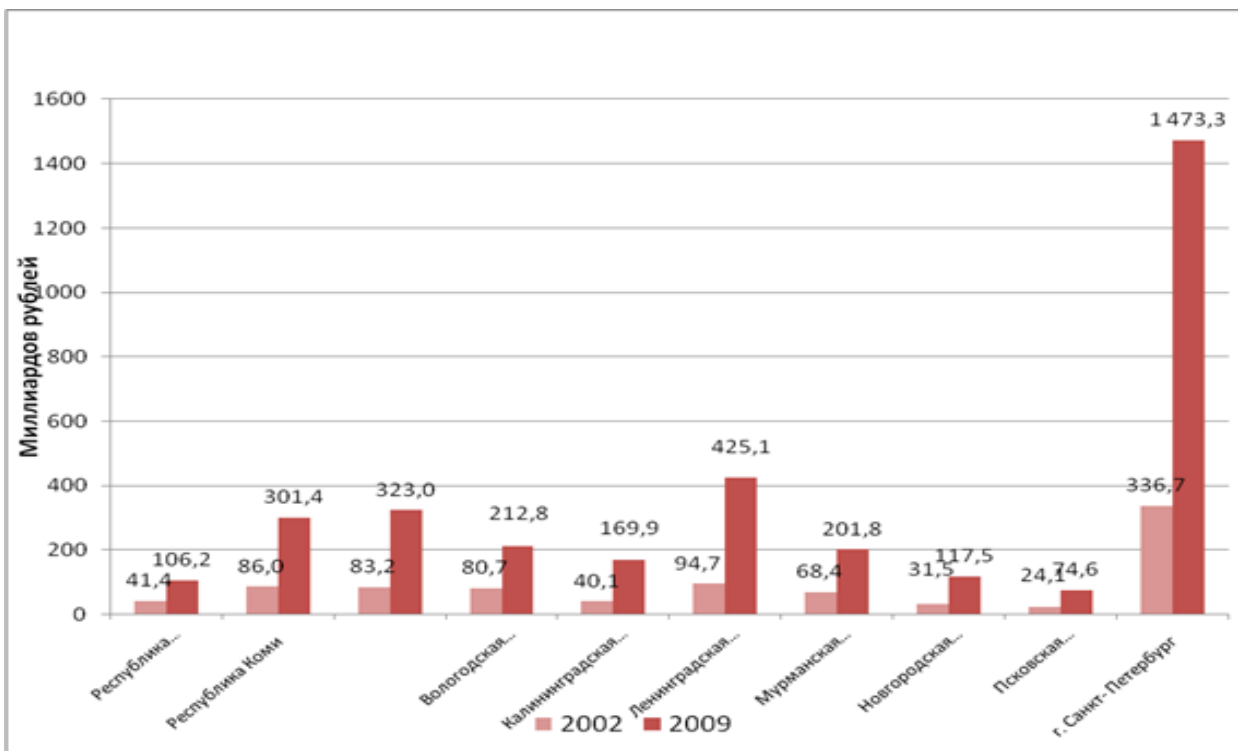


Рисунок 2 – Валовой региональный продукт регионов Северо-Западного федерального округа (в текущих основных ценах)

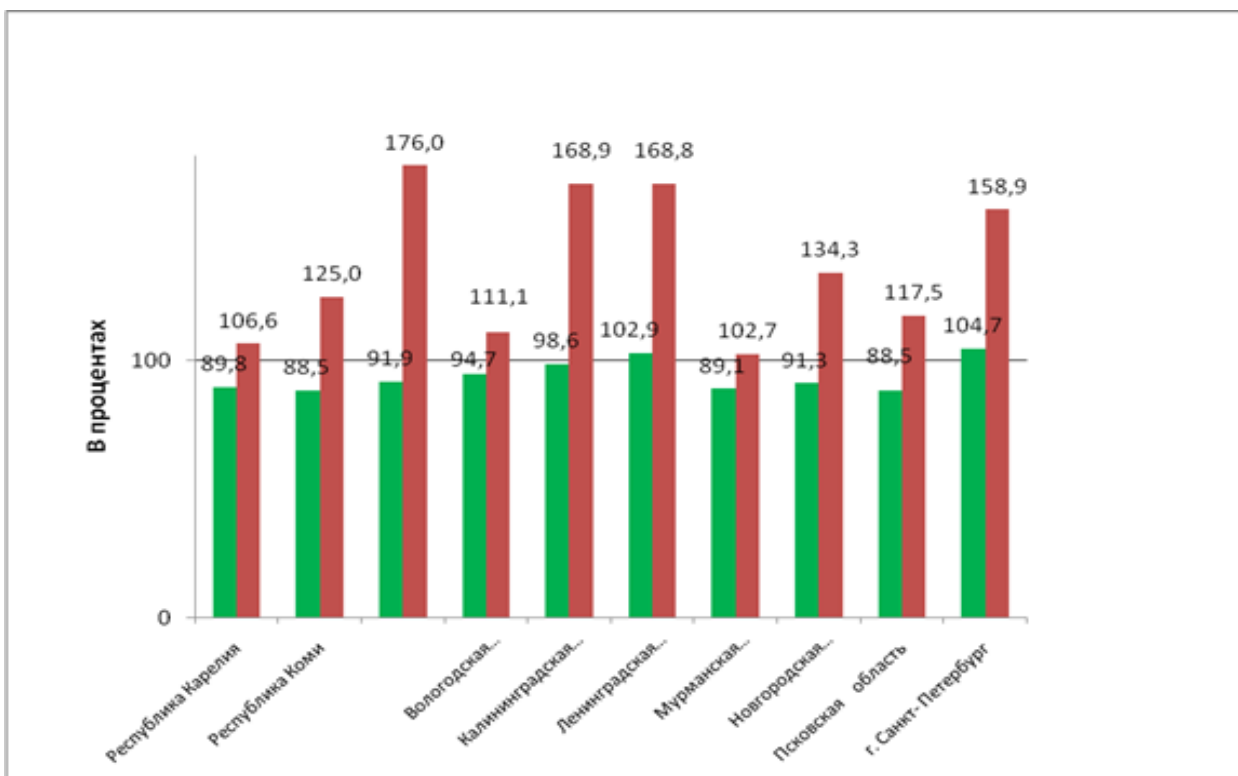


Рисунок 3 – Темпы роста численности населения и ВРП регионов Северо-Западного федерального округа в 2002-2010 годах

Вместе с тем, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2011 года № 2074-р Стратегии социально-экономического развития Северо-Западного федерального округа на период до 2020 года (далее – Стратегия СЗФО) прогнозируется не просто сохранение, а даже небольшое сокращение численности населения СЗФО – примерно на 100 тысяч человек (или на 0,9 % к уровню 2010 года) – при одновременном весьма масштабном росте валового регионального продукта на 80 процентов (рис. 4).

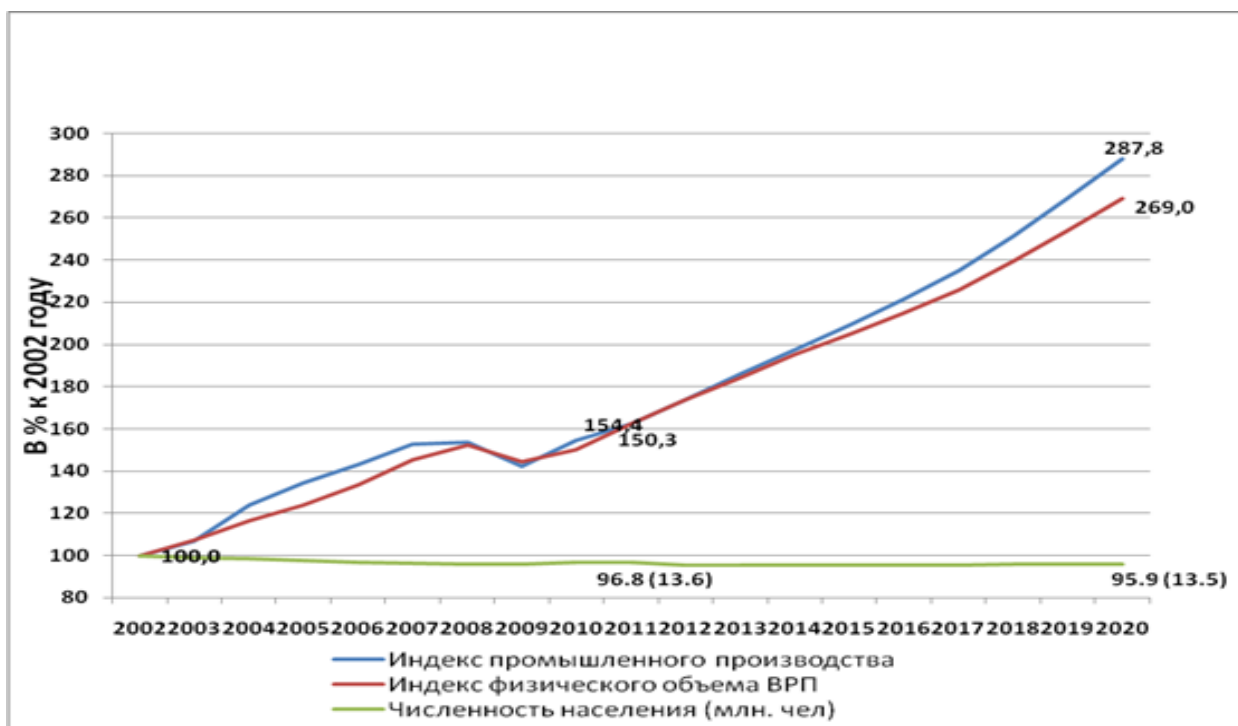


Рисунок 4 – Динамика и прогноз по основным показателям развития Северо-Западного федерального округа до 2010 года

Отметим, что темпы роста промышленного производства прогнозируются несколько выше темпов роста валового регионального продукта, что указывает на два обстоятельства. Во-первых, разработчики стратегии достаточно обосновано считают, что именно промышленность сохранит на ближайшее десятилетие главенствующее значение для формирования ВРП регионов Северо-Запада, не только внося наибольший вклад, но и определяя тем самым темпы экономического развития. А, во-вторых, авторы уверены, что темпы развития других отраслей экономики, включая такие как транспорт и строительство, будут существенно ниже, чем в промышленности.

По другому прогнозу, содержащемуся в стратегии транспортного развития Северо-Западного федерального округа, суммарный грузопоток регионов СЗФО увеличится со 148 миллионов тонн в 2010 году до 200 миллионов тонн в 2020 году, то есть на 36

процентов (основной прирост грузопотока планируется обеспечить за счет развития морских портовых мощностей, а основным фактором, ограничивающим этот рост будет являться в период до 2020 года недостаточная развитость железнодорожной инфраструктуры – рисунок 5). Очевидно, что даже с учетом определенного ранее достаточно высокого коэффициента корреляции между развитием транспортной системы и ростом промышленного производства, рост грузопотока на 36 процентов при практически постоянной численности населения не в состоянии обеспечить 80-процентный рост промышленности.

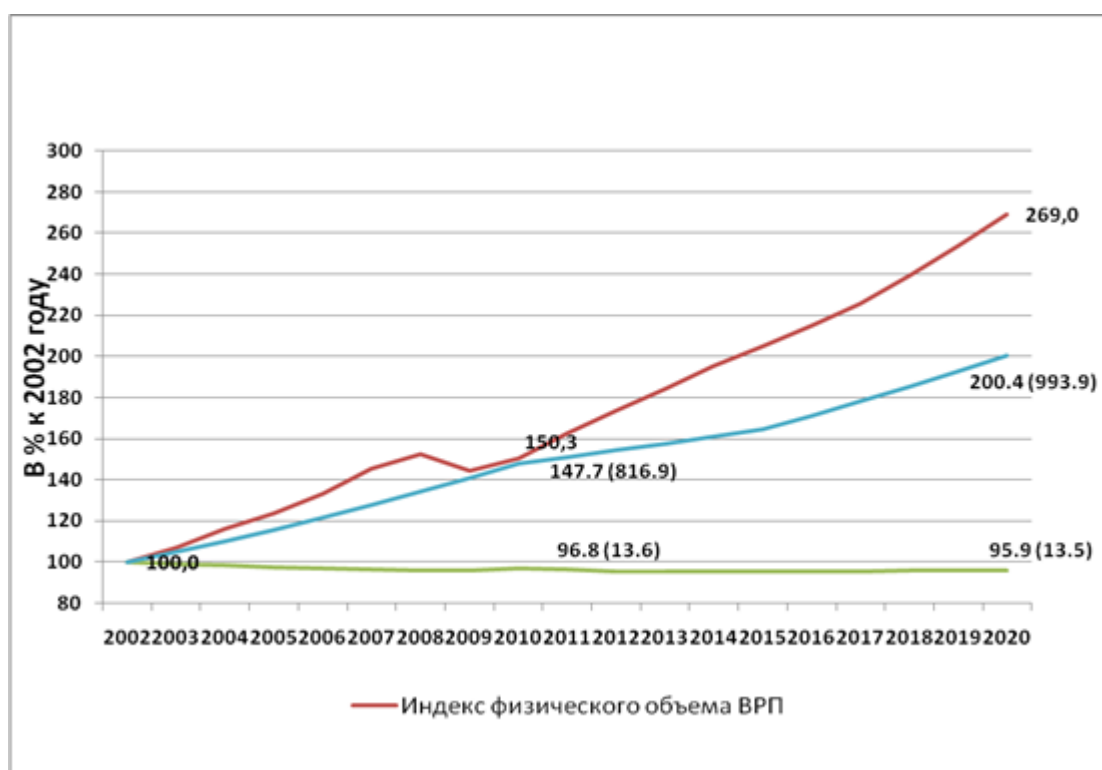


Рисунок 5 – Динамика и прогноз развития Северо-Западного федерального округа до 2010 года (с учетом развития транспорта)

Единственным механизмом, позволяющим в этих условиях обеспечить требуемый для адекватного роста качества жизни населения рост промышленного производства, является ускоренное внедрение высокотехнологичных наукоемких производств и процессов с увеличением к 2020 году их доли в общем объеме промышленного производства как минимум в полтора раза (рисунок 6).

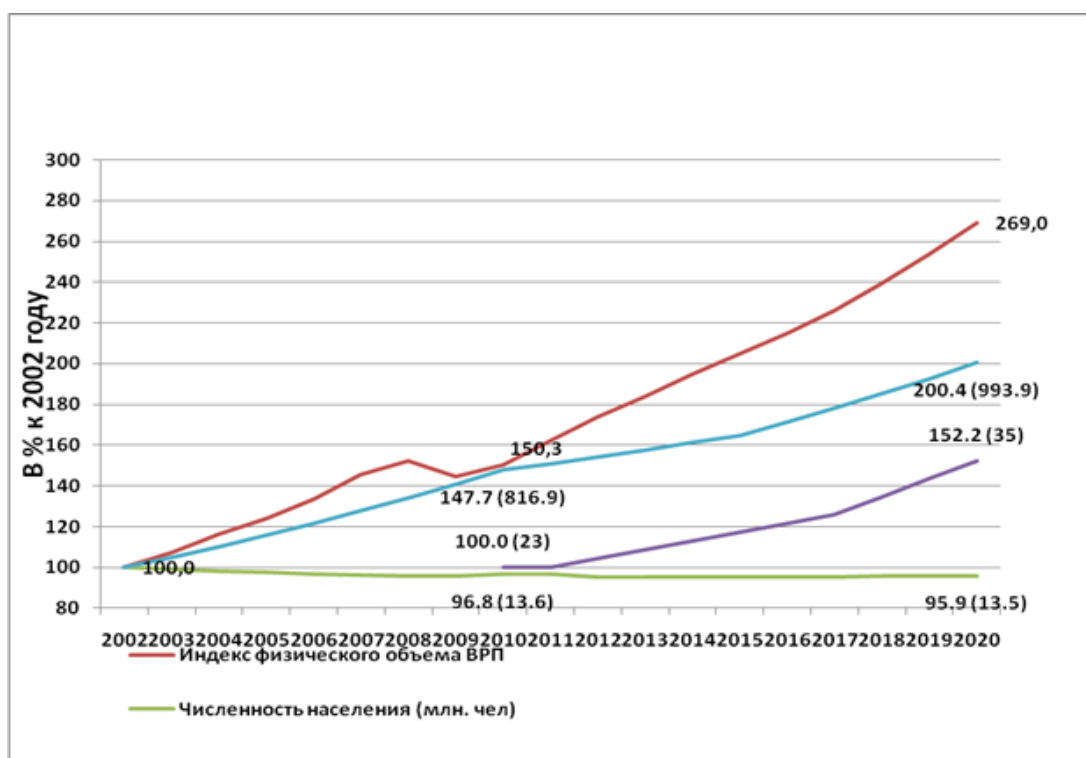


Рисунок 6 – Динамика и прогноз развития Северо-Западного федерального округа до 2010 года (с учетом внедрения высокотехнологичных наукоемких процессов и производств)

С учетом того, что основу экономики Северо-Запада составляет экономическая подсистема Санкт-Петербургской агломерации, можно сделать выводы о том, что:

– в условиях ограниченных возможностей по привлечению трудовых ресурсов из-за пределов Санкт-Петербургской агломерации для эффективного развития Санкт-Петербурга целесообразно разработать и реализовать политику, направленную на повышение уровня инновационного развития, имея в виду удельное сокращение количества занятых на единицу валового регионального продукта. Задача обеспечения реального инновационного развития должна стать основополагающей при планировании и организации деятельности органов государственной власти, учреждений и организаций научно-инновационно-образовательного комплекса, а также собственников существующих и инвесторов в создание новых промышленных и иных предприятий на территории Санкт-Петербурга на ближайшую перспективу;

– необходимо повышать эффективность использования одного из основных конкурентных преимуществ Санкт-Петербурга – геоэкономического потенциала, сочетающегося с развитой транспортно-логистической инфраструктурой, имея в виду необходимость увеличения мультипликативного эффекта «индустриализации» грузопотоков.

Исходя из изложенного, политика властей Санкт-Петербурга по корректировке региоторных факторов (то есть в силу природных и исторических обстоятельств присущих региону факторов, влияние на которые региональных властей требует задействования серьезных материальных ресурсов на протяжении продолжительного периода времени), формирующих инновационную привлекательность региона, должна обеспечивать:

- повышение эффективности использования ограниченных трудовых ресурсов;
- развитие инфраструктурного потенциала для реализации инвестиционных проектов, связанных с максимальным задействованием транспортно-логистического потенциала (с учетом внутрirosсийского и международного разделения труда).

На практике необходимость совместной реализации указанных подходов (с учетом того, что Санкт-Петербург занимает первое место среди регионов по диспропорции вакансии/безработные, имея самый низкий в стране уровень безработицы, который в 5-6 раз ниже фонового значения) означает целесообразность следующих решений:

- принятие в качестве стратегической политику научно-инновационного развития Санкт-Петербурга, включающей:

- разработку государственной программы трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга (научно-инновационного развития Санкт-Петербурга);

- поддержку исключительно высокотехнологичных инвестиционных проектов, реализация которых приведет не к созданию новых рабочих мест, а к замещению существующих неэффективных (с точки зрения производительности труда, устойчивости функционирования и бюджетной эффективности). Остальные инвестиционные проекты должны реализовываться без опоры (полностью или частично) на меры государственной поддержки;

- поддержку высокотехнологичного сектора малого предпринимательства, имея в виду, что производительность труда на малых предприятиях в среднем ниже, чем на средних и крупных, и в условиях резкой нехватки трудового потенциала переток трудовых ресурсов из сферы малого предпринимательства является крайне желательным (за исключением оттока работников из секторов, для которых сфера малого бизнеса является системообразующей);

- развитие системы целевой подготовки и переподготовки кадров для реализуемых (предполагаемых к реализации) инвестиционных проектов совместно с учреждениями, осуществляющими профессиональное образование и профессиональное обучение граждан, и инвесторами;

– участие в формировании индустриальных парков с явно выраженным дистрибутивно-логистическим акцентом, ориентированных на создание предприятий, обрабатывающих (перерабатывающих) грузопотоки, поступающие в Санкт-Петербург морским, речным или железнодорожным транспортом с последующей дистрибуцией готовой продукции на внутренние рынки России или на экспорт³.

Реализация выявленных приоритетов политики научно-инновационного развития Санкт-Петербурга требует в качестве первого шага выполнить анализ и определить направления развития науки в Санкт-Петербурге, соответствующих трендам развития мировой науки, приоритетам развития Санкт-Петербурга, установленным Концепцией развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года, и научно-инновационному потенциалу Санкт-Петербурга.

³ При этом необходимо учитывать, что тенденции последних лет явно указывают, что на «старых» промышленных площадках Санкт-Петербурга остаются производства с превышающей среднюю по городу добавленной стоимостью, для которых транспортно-логистические затраты, многократно возрастающие для таких площадок, не имеют существенного значения. Предприятия, для которых транспортно-логистическая составляющая важна, тяготеют к периферийным промышленным площадкам с развитой инфраструктурой. Есть все основания предполагать, что в случае, если Санкт-Петербург не сможет реализовать стратегию, связанную с получением синергетического эффекта от взаимодействия транспортно-логистического и промышленного комплекса, его геоэкономический потенциал в течении ближайших 15-20 лет перестанет быть системообразующим для городской экономики фактором. Это создает дополнительные риски и лишний раз указывает на безальтернативность научно-инновационного развития как стратегического выбора Санкт-Петербурга.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 Научно-технический потенциал Санкт-Петербурга и наиболее перспективные направления его развития в области физико-математических наук

Развитие фундаментальных научных исследований является одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед Россией в настоящее время.

Для современного уровня развития научных исследований характерно чрезвычайно углубленное проникновение в предмет каждой специальности в сочетании с растущей относительной изоляцией отдельных направлений. Фундаментальные физические исследования отличаются высокой стоимостью, что ведет к международной кооперации, с одной стороны, и замыканию целых областей науки, с другой. Последнее означает, что субъект, не участвующий в подобных кооперативных исследованиях, выбывает из профессионального сообщества, а перспективы его возвращения ухудшаются с течением времени. Ограниченность материальных ресурсов налагает естественные ограничения на выбор научных

Цель этого исследования – анализ основных тенденций развития науки в мире, определение наиболее перспективных направлений научного поиска, выработка приоритетов при формировании программ физико-математических исследований, ведущихся в институтах Санкт-Петербурга.

1.1 Математика

Исследовательские центры и научные школы Санкт-Петербурга в области фундаментальной математики

В целях анализа современного состояния математических наук в Санкт-Петербурге целесообразно одновременно рассматривать исследования как в области фундаментальной математики, так и в области теоретической физики и теоретической информатики. Исследования в указанных областях существенно используют математический аппарат. Кроме того, именно эта тематика традиционно является областью исследований в математических научно-исследовательских центрах Санкт-Петербурга.

К таким центрам относятся, в первую очередь, Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В. А. Стеклова Российской академии наук (далее – ПОМИ РАН) и Санкт-Петербургский государственный университет (далее – СПбГУ), в

частности, математико-механический факультет, факультет прикладной математики – процессов управления, физический факультет, научно-исследовательская лаборатория им.П.Л.Чебышева.

Кроме того, имеются тесные связи упомянутых выше центров с (не столь крупными) исследовательскими группами и отдельными учеными других вузов и институтов Санкт-Петербурга. В связи с этим следует отметить, что сотрудники ПОМИ РАН ведут совместную научную работу с представителями Института проблем машиноведения РАН, Физико-техническим институтом РАН, Университетом ИТМО, Университетом аэрокосмического приборостроения. На кафедре прикладной математики Санкт-Петербургского государственного Политехнического университета на протяжении 8 лет функционирует совместная с ПОМИ РАН лаборатория вычислительных методов математической физики. Многие сотрудники ПОМИ РАН по совместительству работают в СПбГУ, в Санкт-Петербургском академическом университете – Научно образовательном центре нанотехнологий РАН (кафедра математических и информационных технологий) и в других вузах Санкт-Петербурга.

Санкт-Петербургская математическая школа в целом формировалась на протяжении более полутора столетий, и в настоящее время сложились несколько устойчивых направлений и научных школ, имеющих не только российское, но и международное признание. Пять научных школ Санкт-Петербурга в области математики в настоящее время являются победителями конкурса на соискание грантов Президента Российской Федерации по поддержке ведущих научных школ:

НШ-2504.2014.1 «Теория вероятностей и математическая статистика: асимптотические проблемы». Руководитель – И.И.Ибрагимов (ПОМИ РАН);

НШ-1292.2014.1 «Математические методы квантовой физики и теории распространения волн». Руководитель – Л.Д. Фаддеев (ПОМИ РАН).

НШ-3856.2014.1 «Алгебраические группы, мотивы и сложность алгоритмов». Руководители – А.В.Яковлев (СПбГУ) и Ю.В.Матияевич (ПОМИ РАН).

НШ-1771.2014.1 «Качественные свойства решений уравнений с частными производными». Руководитель – Н.Н.Уральцева (СПбГУ).

НШ-3384.2014.1 «Детерминированная и хаотическая динамика систем синхронизации и управления». Руководитель – Г.А.Леонов (СПбГУ).

Помимо упомянутых выше школ следует также отметить Санкт-Петербургские научные школы геометрии и топологии (руководитель – Ю.Д.Бураго, ПОМИ РАН), математического и функционального анализа (руководители – В.П.Хавин, СПбГУ и С.В.Кисляков, ПОМИ РАН), асимптотических и вероятностных методов в комбинаторике

и динамических системах (руководитель – А.М.Вершик, ПОМИ РАН). Эти направления также получали признание в качестве ведущих российских научных школ в предыдущие годы.

В таблице 1.1 приведена информация о публикационной активности ученых Санкт-Петербурга в области математики (по данным Web of Science). К сожалению, полноценный анализ на основании этих данных провести сложно. Связано это с несколькими факторами. Во-первых, математические издания представлены в базе данных Web of Science недостаточно полно. С этой точки зрения более адекватной представляется база MathSciNet, однако в ней сложнее проводить анализ по месту работы авторов. Во-вторых, как показывает практика, в журнальных публикациях авторы указывают различные написания места работы, что также затрудняет поиск. В-третьих, как отмечено выше, многие сотрудники ПОМИ РАН являются также и сотрудниками СПбГУ, поэтому их публикации могут учитываться дважды. Чтобы учесть влияние последнего фактора, в таблице также приведены данные о публикациях, подготовленных сотрудниками СПбГУ без участия ПОМИ РАН.

Таблица 1.1 – Анализ публикационной активности в области математики (количество публикаций по базе данных Web of Science)

| Год | Санкт-Петербург | ПОМИ РАН | СПбГУ | СПбГУ (без ПОМИ РАН) |
|------|-----------------|----------|-------|----------------------|
| 2011 | 200 | 60 | 87 | 81 |
| 2012 | 212 | 59 | 103 | 97 |
| 2013 | 184 | 58 | 114 | 98 |
| 2014 | 200 | 74 | 135 | 105 |

Кроме того, следует учитывать и численность работников научных организаций. Научный штат ПОМИ РАН составляет 96 человек. В СПбГУ исследовательскую и преподавательскую деятельность в области математики ведут более 400 человек. По соотношению количества публикаций на одного научного сотрудника в год ПОМИ РАН существенно опережает СПбГУ (данный показатель для ПОМИ РАН составляет 0.6-0.75).

*Образовательная деятельность и подготовка научных кадров в Санкт-Петербурге
в области математики*

Подготовка научных кадров высшей квалификации осуществляется в аспирантуре ПОМИ РАН и в аспирантуре СПбГУ. В 2009 г. в ПОМИ РАН создан научно-

образовательный центр (НОЦ ПОМИ РАН). В настоящее время помимо аспирантуры НОЦ ПОМИ РАН включает в себя ПОМИ-поток для студентов, на базе математико-механического факультета СПбГУ, научно-учебную лабораторию вычислительных методов математической физики на базе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Физико-математический клуб» и «Computer Science клуб», в рамках которых сотрудники ПОМИ РАН и приглашенные ученые ведут занятия с одаренными студентами и школьниками.

ПОМИ РАН имеет давние тесные связи с СПбГУ по подготовке высококвалифицированных кадров в области математики. На протяжении 25 лет на математико-механическом факультете СПбГУ функционирует так называемый ПОМИ-поток с углубленным изучением математики. Занятия в потоке ведут сотрудники ПОМИ РАН. Основная деятельность ПОМИ-потока охватывает студентов первого и второго курсов, еще не распределившихся по специальностям. Студентам читаются дисциплины по углубленным программам кафедр СПбГУ (кафедры математического анализа, алгебры и теории чисел, геометрии, дифференциальных уравнений, теории вероятностей, математической физики). После распределения многие студенты обучаются под руководством сотрудников ПОМИ РАН, преподающих в СПбГУ. Наиболее талантливые из студентов привлекаются к научной работе в ПОМИ РАН и по окончании обучения в СПбГУ зачисляются в аспирантуру ПОМИ РАН.

С 2004 года при ПОМИ РАН функционируют «Физматклуб» и «Computer Science клуб», в рамках которых читаются лекции и проводятся семинарские занятия для студентов, аспирантов и старших школьников. Тематика занятий выходит за рамки общеобразовательных университетских курсов и посвящена современным актуальным задачам математики, теоретической физики и теоретической информатики. В качестве руководителей занятий выступают сотрудники ПОМИ РАН, СПбГУ, других вузов и научно-исследовательских институтов Санкт-Петербурга, приглашенные российские и зарубежные ученые. Формат лекций варьируется от интенсивных мини-курсов (6-8 часов) до обычных семестровых и годовых лекционных курсов. В занятиях разного уровня принимают участие студенты и аспиранты физического и математико-механического факультетов СПбГУ, студенты СПбГТУ, СПбИТМО, аспиранты ПОМИ РАН. Студенты и аспиранты, посещающие занятия «Физматклуба» и «Computer Science клуба», привлекаются к дальнейшей научной деятельности, в частности, к работам по договорам подряда в рамках научно-исследовательских тем ПОМИ РАН.

Аналогичный формат занятий с привлечением ведущих отечественных и зарубежных ученых используется и в образовательной деятельности Междисциплинарной исследовательской лаборатории им.П.Л.Чебышева (СПбГУ).

Анализ мировых тенденций развития математики. Перспективные направления исследований

В настоящее время в мире продолжается развитие фундаментальной математики и ее приложений. Общепринятый в математическом сообществе рубрикатор Американского математического общества выделяет 63 тематических направления, которые могут быть объединены в следующие укрупненные группы:

- логика и основания математики;
- алгебра и теория чисел;
- математический и функциональный анализ;
- дифференциальные уравнения (в том числе, уравнения в частных производных);
- геометрия и топология;
- теория вероятностей и статистика;
- дискретная математика;
- теоретическая информатика;
- теоретическая физика;
- математические вопросы механики и геофизики;
- исследование операций, математическое программирование, теория игр.

В основном, современные исследования в мире в области математики характеризуются довольно узкой специализацией. Однако существует ряд задач, представляющих общий интерес. Конечно, выбор такого списка задач является весьма субъективным, и никакой подобный список не может претендовать на полноту. Наиболее известным для широкой общественности, является, по-видимому, список из семи так называемых «задач тысячелетия» (Millenium Problems), составленный и опубликованный институтом Клэя (www.claymath.org) в 2000 году. Хотя этот список и включает в себя известные нерешенные проблемы (некоторые из которых привлекают внимание исследователей уже более ста лет), выбор этих проблем никоим образом не означает, что другие направления потеряли свою значимость.

В последнее время особую актуальность приобретают проблемы фундаментальной математики, находящие применение в ряде прикладных областей. Так, многие вероятностные методы (в частности, теория случайных матриц) развиваются в связи с приложениями в физике, биологии, вычислительной математике и других естественных

науках. Проблемы дискретизации римановых многообразий и их применение для решения прямых и обратных задач находят применение в геофизике, материаловедении, медицине, машинном обучении.

Современная физика, как и в прежние времена, продолжает оставаться источником трудных и актуальных математических задач, решение которых требует создания и развития новых математических методов. Так, например, исследование специальных математических моделей статистической физики и теории поля привело к созданию квантовых R-матриц, связанных с представлениями алгебр Ли и их деформаций – квантовых групп. Квантовая теория поля приводит к новым нестандартным задачам в теории интегрируемых систем и теории представлений, что стимулирует разработку новых математических методов для их решения. Вопрос о глобальном существовании гладких решений трехмерной системы Навье-Стокса является на сегодняшний день одной из центральных проблем современной теории дифференциальных уравнений в частных производных. Изучение нестационарных волновых процессов привело к созданию теории обобщенных решений уравнений в частных производных, что явилось основой для дальнейшего прогресса в этой области математики. Научный прогресс в таких областях, как электродинамика, акустика, сейсмология, неизменно приводит к появлению все новых и новых задач, связанных с волновыми явлениями.

В связи с бурным развитием вычислительной техники возникает необходимость в развитии математического аппарата в области теоретической информатики и теории алгоритмов.

Сравнение научно-технического потенциала Санкт-Петербурга с мировым уровнем

В Санкт-Петербурге ведутся исследования по всем основным направлениям, отмеченным выше. Уровень этих исследований сопоставим с мировым, а зачастую является определяющим. Среди достижений петербургской математической школы последних десятилетий следует отметить доказательство гипотезы Пуанкаре (одной из семи «задач тысячелетия»), полученное Г.Я.Перельманом. Кроме того в Санкт-Петербурге ведутся исследования в направлении еще четырех из оставшихся «задач тысячелетия»: проблемы $P \neq NP$, исследования уравнения Навье-Стокса, гипотезы Римана, проблемы массы в теории Янга-Миллса.

Остановимся подробнее на основных направлениях, в которых Санкт-Петербургская математическая школа является наиболее конкурентоспособной в мире и по которым в ближайшие годы следует ожидать существенных результатов. Ниже

приводится обзор наиболее актуальных исследований, проводимых в Санкт-Петербурге, в привязке к направлениям, выделенным в предыдущем разделе.

Алгебра и теория чисел. В области алгебраической геометрии в Санкт-Петербурге развиваются алгебро-геометрические, топологические и мотивные методы и их применение к решению классических проблем. Среди них: проблемы Герстена-Витта и Блоха-Огуса в арифметической алгебраической геометрии (две родственные классические проблемы в алгебраической теории групп Витта и когомологиях Галуа), структура и геометрические реализации параболических ниль-алгебр Гекке, приложения в вычислении ориентированных теорий когомологий и мотивов однородных многообразий, проблемы построения арифметических и мотивных аналогов, проблемы гомотопических экспонент и функториальная теория гомотопий. Проблемы построения арифметических и мотивных аналогов – исключительно важные, но далекие от полного решения проблемы. Речь идет о переносе в арифметическую ситуацию геометрических и гомотопических методов. Значимость этих проблем в том, что продвижения в их решении позволят применить хорошо разработанные алгебро-геометрические и гомотопические методы к решению весьма трудных классических арифметических проблем. Проблемы гомотопических экспонент, в частности, проблемы Барратта и Мура, занимают центральное место в современной теории гомотопий. Любое новое продвижение в направлении решения этих проблем имеет значимость и вызывает интерес в мировом научном сообществе.

На математико-механическом факультете СПбГУ сложился сильный коллектив исследователей, работающих в области теории алгебраических групп. Уже полученные и ожидаемые в ближайшее время результаты сравнимы с мировым уровнем. Также в СПбГУ ведутся исследования в области алгебраической теории чисел и арифметики алгебраических полей. Это направление также находит применение в криптографии.

Направление, посвященное аналитическим методам в теории чисел, в Санкт-Петербурге было традиционно сильным. В настоящее время оно представлено работами по определению свойств нулей дзета-функций. Эта тематика тесно примыкает к исследованиям по гипотезе Римана (еще одной из семи «проблем тысячелетия»).

Математический и функциональный анализ. Задачи, находящиеся на стыке комплексного, гармонического и функционального анализа, интересуют математиков по всему миру. Данная область продолжает активно развиваться, многие важные вопросы остаются открытыми. Проводимые в Санкт-Петербурге исследования в области гармонического и комплексного анализа мотивированы следующими актуальными тенденциями:

а) Смещение интереса исследователей в области гармонического анализа от конкретных функциональных пространств и конкретных операторов к их классам и обобщениям. Типичным примером последних лет является повышенное внимание к пространствам Лебега и Соболева с переменным показателем.

б) Рост интереса к гармоническому анализу на сфере, мотивированный результатами в области теории аппроксимации на сфере.

в) Систематическое использование методов гармонического анализа в теории функций нескольких комплексных переменных.

Кроме того, группа исследователей в лаборатории им. П. Л. Чебышева (СПбГУ) возглавляемая лауреатом Филдсовской премии С. К. Смирновым ведет работы по теории поведения двумерных решетчатых моделей перколяции и модели Изинга.

Теория вероятностей и математическая статистика. Петербургской школе теории вероятностей и математической статистики с момента ее создания акад. Ю. В. Линником присущ интерес к аналитическим проблемам теории вероятностей и математической статистики и к использованию аналитических методов при решении задач этих наук. Аналитические проблемы теории вероятностей и математической статистики находятся в центре внимания математиков из ведущих стран мира на протяжении многих лет. В связи с приложениями в физике, биологии, вычислительной математике и других естественных науках в последние годы имел место резкий рост интереса и числа публикаций в области случайных матриц. В частности, важные новые теоремы о случайных матрицах, случайных полиномах и в области математической статистики были получены петербургскими математиками самостоятельно и в сотрудничестве с российскими и иностранными коллегами (из США, ФРГ, Франции, Швеции и других стран).

Также в Санкт-Петербурге ведутся исследования по изучению асимптотических закономерностей, возникающих в ряде задач теории вероятностей и математической статистики. Научная ценность теории вероятностей раскрывается исключительно через ее предельные теоремы, так что асимптотические задачи составляют наиболее существенную часть современной теории вероятностей и математической статистики. Продолжается работа в этих перспективных направлениях.

Геометрия и топология. Исследования в этой области, проводимые в Санкт-Петербурге, охватывает несколько важных проблем современной геометрии.

Во-первых, это круг вопросов, связанных с дискретизацией римановых и финслеровых многообразий посредством аппроксимации их сетями, что возможно

откроет путь для внедрения численных методов при решении геометрических проблем. Необходимость исследования геометрии римановых многообразий средствами дискретного анализа возникает в ряде прикладных областей (геофизика, материаловедение, медицина, машинное обучение), в которых важную роль играют структуры, моделируемые римановыми метриками. Интерес к этим вопросам вызван также развитием вычислительной техники. Для решения подобных задач, прежде всего, необходимы адекватные дискретные модели изучаемых пространств. Разработанные в настоящее время модели, основанные на полиэдральных или функциональных аппроксимациях, имеют ограниченную область применимости, они хорошо работают только для двумерных поверхностей или для метрик специального вида. Развиваемые Санкт-Петербургской геометрической школой новые методы и исследование новых дискретных моделей открывают новые возможности для решения как прямых, так и обратных задач в вышеупомянутых областях.

Другой аспект — асимптотическая геометрия, т.е. изучение связи крупномасштабной геометрии некомпактных пространств с геометрией их границ на бесконечности. Асимптотическая геометрия и топология применяется для решения ключевых проблем современной математики, среди которых можно упомянуть гипотезы Новикова, Конна-Баумана, Кэннона, теория гиперболических групп с такими приложениями к маломерной топологии как гипотезы Терстона о виртуализации и геометризации трехмерных многообразий.

Также развиваются аналитические методы в теории пространств ограниченной снизу кривизны.

В области топологии в Санкт-Петербурге ведутся исследования по тропической геометрии, гомотопическим инвариантам и случайным блужданиям. Тематика, связанная с тропической геометрией возникла из решения трудных классических проблем алгебраической геометрии над полями комплексных и вещественных чисел. Тропические кривые являются ключевым элементом комбинаторного патчворкинга, мощного метода построения вещественных алгебраических кривых с контролируемой топологией, и вычисления плоских инвариантов Громова — Виттена.

Во всех этих исследованиях и результаты петербургских математиков являются актуальными, а в некоторых — даже опережающими.

Уравнения математической физики и дифференциальные уравнения в частных производных. Создание и развитие математического аппарата, позволяющего адекватно моделировать явления, наблюдаемые в жидких и газообразных средах, а также позволяющего проводить качественный анализ и расчет различных параметров и

характеристик течений указанных сред, является одной из наиболее важных направлений современной математической физики. Основной задачей проекта в части качественного анализа задач математической физики является изучение уравнений Навье-Стокса и их применимости для описания динамики вязкой несжимаемой жидкости при больших числах Рейнольдса.

По тематике, связанной с гидродинамикой, в Санкт-Петербурге работают ведущие мировые специалисты Г.А.Серегин, В.А.Солонников, Н.Н.Уральцева, а также другие участники коллектива, созданного в свое время О.А.Ладыженской. В предыдущие годы сотрудниками данного коллектива были проведены исследования системы уравнений Навье-Стокса (в которую превращается система уравнений магнитной гидродинамики при отсутствии магнитного поля), а также начаты исследования самой системы уравнений магнитной гидродинамики.

Коллектив имеет также большой задел в исследовании волновых процессов. Еще одно направление исследований посвящено получению так называемых апостериорных оценок для различных краевых и начально-краевых задач математической физики. Эти оценки позволяют вычислять расстояние между заданной функцией и точным решением соответствующей краевой задачи и имеют исключительно важное значение для количественного анализа математических моделей, возникающих в естественных науках.

Теоретическая физика. Одной из важных задач современной теоретической физики является развитие методов квантовой теории поля с использованием опыта решений точно интегрируемых моделей; развитие новых методов, позволяющих анализировать квантовые системы вне рамок обычной теории возмущений; развитие математического аппарата теории квантовых групп и её приложение к квантовому методу обратной задачи. Исследования в этом направлении связаны с решением одной из «проблем тысячелетия» относящейся к квантовой теории Янга-Миллса.

Одна из основных задач в данной области – выяснение основных принципов, которые лежат в основе обнаруженной дуальности между теорией калибровочных полей и теорией струн, в частности, интегрируемости определенных классических и квантовых моделей, возникающих как со стороны теории поля, так и со стороны теории струн, а также изучение свойств представлений конечномерных и аффинных алгебр Ли, необходимых для исследования квантовых интегрируемых систем и топологических теорий поля.

По тематике классических и квантовых интегрируемых систем в Санкт-Петербурге работают ведущие мировые специалисты в этой области (Л.Д.Фаддеев, П.П.Кулиш, Н.М.Боголюбов, С.Э.Деркачев и др.), авторы многих оригинальных работ и нескольких

монографий, создатели основных методов и понятий в этой области, таких как квантовый метод обратной задачи, квантовые группы, квантовый дубль, и др. Одна из главных задач по тематике посвящена дальнейшему развитию концепции модулярного квантового дубля, квантово-группового объекта, открытого Л.Д.Фаддеевым на рубеже тысячелетия.

Среди других важных задач, рассматриваемых в настоящее время в работах Санкт-Петербургской школы по теоретической физике, отметим: вычисление корреляционных функций (функций Грина) квантовых интегрируемых моделей и описание их связей с классическими интегрируемыми системами, изучение связей корреляционных функций квантовых интегрируемых моделей с объектами комбинаторики, изучение интегрируемых моделей для описания явлений квантовой нелинейной оптики, изучение связи интегрируемых спиновых цепочек с R-матрицами и изучение уравнения Янга-Бакстера.

Теоретическая информатика и дискретная математика. В ПОМИ РАН в сотрудничестве с Академическим университетом РАН сложился сильный коллектив, работающий в области теоретической информатики, теории алгоритмов и дискретной математики. Основные направления исследований включают теорию сложности алгоритмов, теорию схемной сложности, теорию сложности вычислений, исследования комбинаторных структур и исследования по теории графов.

У коллектива есть серьезный опыт исследования по теории ассоциативных схем, теории колец Шура, алгебраической теории графов, вычислительной сложности, и конечным геометриям. В области разработки новых алгоритмов для труднорешаемых задач сотрудниками лаборатории математической логики ПОМИ РАН в последнее десятилетие был получен ряд прорывных результатов. Новые алгоритмы для труднорешаемых задач, улучшающие предыдущие рекорды, были получены для задач булевой выполнимости. Разработаны методы автоматического доказательства верхних оценок для алгоритмов, работающих методом расщепления, разработаны новые алгоритмы и получены новые верхние оценки сложности для задачи максимальной выполнимости, задачи о максимальном разрезе, задаче о кратчайшей общей надстроке.

Сотрудники лаборатории также имеют большой опыт доказательства новых оценок сложности DPLL-алгоритмов для задачи булевой выполнимости: новые верхние оценки на DPLL-алгоритмы для задачи выполнимости, улучшающие предыдущие рекордные значения и новые экспоненциальные нижние оценки на выполнимых формулах, которые на данный момент доказаны для ограниченных классов DPLL-алгоритмов. Сотрудниками лаборатории были доказаны нижние оценки на сложность решения DPLL алгоритмами некоторых криптографических задач, доказаны экспоненциальные нижние оценки для DPLL алгоритмов с эвристикой отсечения ветвей.

В настоящее время также активно развивается направление, связанное с оценками качества алгоритмов коммутации сетевых пакетов в ограниченном буфере, в сотрудничестве с исследователями Purdue University (США) и University of Waterloo (Канада). В последние три года (2012-2014) был получен ряд новых результатов: разработаны новые классы алгоритмов, осуществляющих коммутацию сетевых пакетов с неравномерными требованиями к времени обработки; для этих классов алгоритмов были доказаны новые верхние и нижние оценки на качество их работы по отношению к оптимальному алгоритму,

Анализ возникающих проблем и пути их решения

Проблемы, возникающие в связи с задачей сохранения и развития научного потенциала Санкт-Петербурга в области математики, по-видимому, не являются специфичными для данной области, а характерны для состояния всей науки в целом. Основная проблема связана с возрастной структурой научных групп и вызвана естественным старением коллективов и недостаточным притоком молодежи. С одной стороны, ситуация с подготовкой научных кадров в Санкт-Петербурге позволяет выражать сдержанный оптимизм: имеются талантливые и перспективные студенты, аспиранты и молодые ученые, готовые продолжать научную работу в области математики на весьма высоком уровне. С другой стороны, имеются определенные сложности с закреплением такой талантливой молодежи в научных организациях Санкт-Петербурга. Многие из них по окончании обучения в университете или аспирантуре решают продолжить обучение или ведут поиск постоянной или временной работы за рубежом. Для сохранения молодежи в научной среде Санкт-Петербурга необходимо создавать привлекательные условия, сравнимые с теми, что могут предложить ведущие зарубежные научные центры. В том числе, необходимы продуманные меры по созданию постоянно действующей системы позиций постдоков для недавних выпускников аспирантуры. В настоящее время эта проблема решается, отчасти, за счет действующих при поддержке Правительства Российской Федерации исследовательских лабораторий (исследовательская лаборатория им. П.Л.Чебышева в СПбГУ и исследовательская лаборатория алгоритмических методов в ПОМИ РАН), одно из основных направлений деятельности которых и направлено на сохранение талантливой молодежи. Однако действие этих программ ограничено сроками, на которые выделены гранты. В перспективе следует развивать долгосрочные программы, действующие на постоянной основе.

1.2 Астрономия и астрофизика

Тенденции развития мировой и Российской астрономии

Развитие мировой астрономии в течение последних двух десятилетий проходило в обстановке тотальной компьютеризации и связанного с этим бурного развития высокоточных технологий. Наиболее востребованными направлениями в течение этого времени являлись:

- создание телескопов нового поколения (по размерам, чувствительности и разрешающей способности);
- автоматизация процесса наблюдений, обработки и архивации полученных результатов;
- численное моделирование физического состояния и эволюции космических объектов (а также их популяций) на основе аналитических теорий, созданных до начала и на ранних этапах становления компьютерной эры.

Эти направления продолжают оставаться актуальными и в настоящее время, постепенно трансформируясь в международные мега-проекты по созданию телескопов-гигантов, организацию мониторинга космических объектов телескопами-роботами и виртуальными обсерваториями, а также формирование глобальной сети вычислительных центров, оснащенных суперкомпьютерами, для постановки численных экспериментов. Таким образом, одной из наиболее популярных тенденций развития мировой астрономии в среднесрочной перспективе является дальнейшее совершенствование приборов и методов регистрации излучения космических объектов, а также техники анализа и архивации наблюдательных данных.

Другая тенденция в развитии мировой астрономии состоит в расширении института интерпретаторов, призванного осмысливать и систематизировать стремительно растущий поток наблюдательной информации. Актуальность такого переосмысления продиктована большим числом выявленных несоответствий между свойствами космических источников, установленных наблюдениями на телескопах нового поколения, и свойствами, которые ожидалось увидеть, исходя из ранее разработанных теорий. Первостепенной задачей этих исследований является поиск ответа на вопрос о степени критичности выявленных противоречий. Они призваны, прежде всего, выяснить возможность преодоления противоречий путем уточнения значений свободных параметров теоретических моделей, а в случае отсутствия такой возможности, установить, какие из базовых предположений теоретической модели являются ошибочными.

Развитие этой тенденции в настоящее время связано с нарастающим дисбалансом между высоким качеством данных, получаемых на телескопах нового поколения, и приближенным характером выводов теоретических моделей, построенных в результате интерпретации данных, полученных на заре космической эры, т.е. более полувека назад. Это, в частности, относится к молодым отраслям астрофизики, становление которых произошло в середине прошлого века и было связано с качественным переходом астрономии из чисто оптической во всеволновую.

Экономическая перестройка в России, совпавшая по времени с периодом тотальной компьютеризации, негативно отразилась на темпах развития отечественной наблюдательной астрономии. Отставание российской наблюдательной базы от мирового уровня в настоящее время является более чем значительным. Между тем, наблюдаемая в мире общая тенденция к международному сотрудничеству несколько смягчает тяжесть положения российских ученых, открывая перед ними возможность участия в программах наблюдений на крупнейших телескопах мира. Это происходит в форме как совместных заявок на наблюдения с их последующей обработкой и интерпретацией, так и независимых задач, решаемых с помощью данных, полученных из электронных архивов. Работы, проводимые на большинстве отечественных телескопов, имеют своей целью получение непрерывных рядов наблюдений, необходимых для мониторинга и статистического анализа, что, при определенных условиях, эффективно дополняет наблюдения, выполненные на крупнейших астрономических инструментах. Лишь немногие из отечественных инструментов (например, 6-метровый телескоп Специальной астрофизической обсерватории (БТА) и сеть радиотелескопов Института прикладной астрономии «Квазар») способны решать наиболее сложные задачи современной наблюдательной астрофизики и астрономии.

Теоретическая российская астрономия на протяжении всего времени экономической перестройки продолжала традиционно занимать на международной арене передовые позиции. Некоторое отставание в темпах развития численного эксперимента от международного уровня, вызванное дефицитом электронных вычислительных ресурсов в России в конце XX века, было в значительной мере преодолено в течение последнего десятилетия. Следует отметить, что это отставание оказало благотворное влияние на развитие аналитических и феноменологических методов исследования в отечественной науке, составляющих основу ее теоретического фундамента. Эти методы в настоящее время активно используются при разработке и проведении численных экспериментов, а также анализе их результатов.

*Перечень наиболее перспективных направлений развития астрономии и астрофизики
в Санкт-Петербурге*

К разряду фундаментальных в области астрономии относятся, в первую очередь, исследования, направленные на получение новых знаний о структуре и свойствах материи при условиях, недостижимых в земных лабораториях. Перспективность этих исследований оценивается вероятностью, с которой новый результат может быть получен на вполне обозримом временном масштабе, составляющем обычно несколько лет. Величина этой вероятности, в свою очередь, зависит от баланса между достигнутыми к настоящему времени уровнями развития теории и наблюдательной базы. Исключительно важным является способность средств наблюдения проверить выводы теории, предоставить информацию о величинах свободных параметров моделей и, таким образом, обеспечить правильный выбор дальнейшего направления развития. Основываясь на этом критерии можно выделить следующие перспективные направления развития астрономии в Санкт-Петербурге на ближайшие несколько лет:

- Нейтронные звезды и связанные с ними объекты (пульсары, рентгеновские и гамма-двойные системы, аномальные пульсары и источники мягких повторяющихся гамма-всплесков, барстеры, сверхновые и их остатки);
- Активные и взаимодействующие галактики (в том числе квазары, блазары и галактики с полярными кольцами);
- Межзвездная среда (в том числе области звездообразования межзвездные молекулярные полосы).

Нейтронные звезды являются самыми плотными из наблюдательно установленных объектов Вселенной. Они обладают наиболее сильными магнитными полями, вращаются с самыми короткими периодами и являются источниками наиболее энергичных вспышек, зарегистрированных в нашей Галактике (мягкие повторяющиеся гамма-всплески). Являясь пульсарами, нейтронные звезды играют ключевую роль в вопросах навигации (систем координат) и исследованиях свойств гравитационного и электромагнитного полей, а также межзвездной и околозвездной среды (корона и звездный ветер).

Образование нейтронной звезды сопровождается вспышкой *сверхновой*. Эти события, наряду с гамма-всплесками, являются наиболее энергичными событиями во Вселенной, определяющими химический состав заполняющего ее вещества. Наконец, исследования процесса аккреции газа на нейтронные звезды несут информацию о механизмах удержания полностью (а, также, частично) ионизованной плазмы магнитным полем (*магнито-левитационная аккреция*), термоядерном синтезе в приповерхностных

слоях (*рентгеновские барстеры*) и распаде сверхтяжелых ядер, формирующихся в коре молодой нейтронной звезды на фазе ее быстрого остывания. Объекты с нестационарной аккрецией позволяют тестировать свойства сверхпроводимости и сверхтекучести вырожденного газа, составляющего основу ядра нейтронной звезды.

Физика и эволюция нейтронных звезд входят в число наиболее успешно развиваемых и перспективных направлений исследований, проводимых в научно-исследовательских институтах, обсерваториях и ВУЗах Санкт-Петербурга. Теоретические исследования внутренней структуры, процессов переноса, тепловой и магнитной эволюции нейтронных звезд, проводимые в Секторе теоретической астрофизики Физико-технического института (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе РАН, получили широкое международное признание и составляют основу современных представлений об этих объектах. Сектор занимает лидирующие позиции в исследованиях пульсаров как теоретическими, так и наблюдательными методами при активном использовании архивов данных рентгеновских и крупных оптических и радиотелескопов.

Исследования структуры течения плазмы в окрестности аккрецирующих нейтронных звезд, процессы генерации теплового и нетеплового излучения этих объектов и моделирование процессов ускорения частиц до высоких и сверхвысоких энергий в процессе вспышки сверхновой проводятся в Лаборатории астрофизики высоких энергий ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Отделение физики плазмы, атомной физики и астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе, в состав которого входят Сектор теоретической астрофизики и Лаборатория астрофизики высоких энергий, выполняет также ряд уникальных экспериментальных работ по исследованию гамма-излучения нейтронных звезд, находящихся в активной фазе своей эволюции. В частности, наблюдения мягких повторяющихся гамма-всплесков (аномальных рентгеновских пульсаров) проводятся в Лаборатории экспериментальной астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе в рамках международного проекта «Конус-Винд». Перспективным проектом отделения является разработка и создание телескопа гамма-излучения высоких и сверхвысоких энергий методом регистрации черенковского излучения, рождаемого широкими атмосферными ливнями, вызванными гамма-лучами в атмосфере Земли. Установка сети из трех телескопов предполагается в аргентинской пустыне Атакама, расположенной на высоте 5-ти километров над уровнем моря. Этот проект имеет международный уровень (рабочее название «ALEGRO» - Atmospheric Low Energy Gamma Ray Observatory) и призван составить самую решительную конкуренцию гамма-телескопам космического базирования как в научной, так и экономической сферах (будучи дешевле космических проектов более чем на порядок). Безусловным

достоинством проекта «ALEGRO» является активное использование в нем высокоточных отечественных технологий.

Исследования процесса аккреции вещества на нейтронные звезды и связанного с этим феномена рентгеновского пульсара проводятся в Секторе эволюции звезд Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН (ГАО РАН). В течение последних двух лет сотрудниками Сектора в кооперации с коллегами из Института космических исследований РАН, г. Москва, Тель-Авивского Университета (Израиль) и Центра космических полетов им. Дж. Маршалла (НАСА, Хантсвилл, Алабама, США) был разработан новый сценарий аккреции на нейтронные звезды, получивший наименование магнито-левитационной аккреции. Это позволило существенно продвинуться в решении проблемы происхождения и ротационной эволюции рентгеновских пульсаров и повысить эффективность интерпретации данных рентгеновских телескопов, в частности, в вопросах проявлений плазмы, захваченной в магнитной ловушке.

Комплексные исследования *активных ядер галактик* и, в частности, особого подкласса этих объектов, именуемого блазарами, проводятся на Кафедре астрофизики и Лаборатории наблюдательной астрономии Астрономического отделения Математико-механического факультета Санкт-Петербургского Государственного Университета (СПбГУ). Работы выполняются в кооперации с Лабораторией фотометрии звезд и галактик Главной (Пулковской) обсерватории РАН и Бостонским университетом (Бостон, США) в составе международной программы «Всемирный блазарный телескоп». Методика, используемая в этих исследованиях (всеволновая синхронная фотометрия, спектроскопия и поляриметрия в оптическом и радиодиапазонах), позволяет исследовать релятивистские истечения вещества (джеты) из этих объектов вплоть до области их формирования, которая, по существующим сейчас представлениям, находится в окрестности гравитационного радиуса сверхмассивной черной дыры, составляющей ядро блазара. Это одно из наиболее перспективных направлений исследований физических свойств вещества, находящегося в окрестности черной дыры.

Исследование влияния процесса *взаимодействия галактик* (включая обмен массой и слияние) на их структуру и эволюцию является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений современной астрофизики. Базу этих исследований составляют детальные обзоры неба, выполненные в течение последнего десятилетия, появление крупных телескопов, а также компьютеров и программного обеспечения, необходимых для обработки и анализа изображений и расчетов процесса эволюции многокомпонентных систем. Работы по этой тематике проводятся сотрудниками Кафедры астрофизики и Лаборатории наблюдательной астрономии Астрономического отделения

Математико-механического факультета Санкт-Петербургского Государственного Университета (СПбГУ) в кооперации со Специальной астрофизической обсерваторией РАН (САО РАН) и Государственным астрономическим институтом им. Штернберга (ГАИШ МГУ) при активном использовании крупнейшего в России 6-ти метрового телескопа. Целью проведения этих работ является изучение глобальной экосистемы галактики и проверка справедливости предположений, лежащих в основе современной модели галактической эволюции. Актуальность выполнения этих работ существенно повысилась именно в последнее время вследствие вывода о том, что взаимодействие галактик между собой радикально отражается на их эволюции. Одним из наиболее результативных и перспективных объектов исследований в этом направлении являются *галактики с полярными кольцами*, т.е. галактики, окруженные газовым кольцом, плоскость которого расположена перпендикулярно основному галактическому диску.

Межзвездная среда является наиболее разреженной и холодной областью Галактики. Она содержит в себе информацию о прошлом Галактики от момента ее формирования до настоящего времени и, что еще более актуально, о ее будущем. Исследования межзвездной среды имеют уже более чем вековую историю. Вместе с тем, темпы увеличения числа новых загадок, которые ставят эти исследования, порой превышают темпы их решения. В частности, загадке о происхождении диффузных межзвездных полос поглощения уже порядка сотни лет – это самая старая загадка астрофизической спектроскопии. Работы, направленные на решение этой проблемы, проводятся, в частности, и в Пулковской обсерватории с использованием самых совершенных спектрографов, установленных на крупнейших телескопах мира.

Значительный прогресс в исследованиях свойств и состава межзвездной среды в течение последнего времени был достигнут во многом благодаря наблюдениям на космическом инфракрасном телескопе «Гершель». Одним из результатов этих наблюдений стал вывод о том, что количество пыли, содержащейся в межзвездной среде, существенно больше количества, ранее оцененного из теоретических расчетов и наземных наблюдений. Информация, полученная в ходе этой миссии, открывает новые возможности для моделирования свойств межзвездной пыли, параметров молекулярных облаков и глобул повышенной плотности, являющихся очагами звездообразования. Большой опыт исследований в этом направлении накоплен на Кафедре астрофизики и Лаборатории теоретической астрофизики Астрономического отделения Математико-механического факультета Санкт-Петербургского Государственного Университета (СПбГУ). Сотрудниками кафедры в составе широкой международной кооперации проводятся

углубленные комплексные исследования структуры и эволюции пылевой составляющей межзвездной среды.

В заключение следует отметить, что спектр направлений астрономических и астрофизических исследований, проводимых в институтах и ВУЗах Санкт-Петербурга, существенно шире выделенных нами трех направлений. По сути, он охватывает почти все области современной астрономической науки. Выделенные нами направления отличает то, что в этих областях

- уровень развития наблюдательной базы является достаточным, чтобы проводить оперативную проверку теоретических моделей и выводов;
- многие ключевые вопросы могут быть проанализированы в лабораторных экспериментах или в экспериментах, проводимых в ближнем космосе;
- теоретические исследования оформлены в научные школы, имеющие традиции и широкое признание как по формальным наукометрическим показателям, так и по фактическим результатам.

В совокупности, это дает нам основание полагать, что именно в этих областях вероятность получения принципиально новых знаний в среднесрочной перспективе является наибольшей.

1.3 Физика элементарных частиц

Развитие фундаментальных научных исследований в физике элементарных частиц является одной из неотложных задач, стоящих перед Россией в настоящее время. Без открытий в физике микромира трудно рассчитывать на активное участие в разработке высоких технологий 21 века и выхода России из состояния сырьевой базы. Особое место занимает прогресс в понимании физических процессов на малых расстояниях, которые происходят при столкновении элементарных частиц и ядер при высоких и сверхвысоких энергиях.

Фундаментальные исследования при высоких энергиях

Физика элементарных частиц (физика высоких энергий) изучает природу на очень малых расстояниях с целью исследовать фундаментальные составляющие материи и их взаимодействия. Переход ко все большим энергиям на протяжении последних ста лет сопровождался раскрытием принципиально новых физических явлений.

Современная Стандартная модель составляющих материи и их взаимодействия содержит следующие элементы

| | | | | | |
|------------------------------|--|--|--|--|---|
| масса → заряд → спин → | ~2.3 МэВ/c ² 2/3 1/2 u верхний | ~1.275 ГэВ/c ² 2/3 1/2 c очарованный | ~173.07 ГэВ/c ² 2/3 1/2 t истинный | 0 0 1 g глюон | ~126 ГэВ/c ² 0 0 H бозон Хиггса |
| КВАРКИ | ~4.8 МэВ/c ² -1/3 1/2 d нижний | ~95 МэВ/c ² -1/3 1/2 s странный | ~4.18 ГэВ/c ² -1/3 1/2 b прелестный | 0 0 1 γ фотон | |
| ЛЕПТОНЫ | 0.511 МэВ/c ² -1 1/2 e электрон | 105.7 МэВ/c ² -1 1/2 μ мюон | 1.777 ГэВ/c ² -1 1/2 τ тау | 0 0 1 Z Z бозон | |
| | <2.2 эВ/c ² 0 1/2 ν_e электронное нейтрино | ~0.17 МэВ/c ² 0 1/2 ν_μ мюонное нейтрино | ~15.5 МэВ/c ² 0 1/2 ν_τ тау нейтрино | ~80.4 ГэВ/c ² =1 1 W W бозон | КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ |

Рис. 1.1 – Таблица современных «элементарных» частиц

В настоящее время исследователям доступны энергии порядка нескольких тераэлектронвольт. Основываясь на экспериментальных открытиях и теоретических построениях установлено, что протоны и нейтроны, составляющие материю, не являются элементарными. Только электроны сегодня описываются как точечные, т.е. бесструктурные, элементарные частицы. Протоны и нейтроны состоят из более фундаментальных составляющих, названных кварками, см. рис. 1, которые несут особый заряд – цвет и не наблюдаются в свободном состоянии из-за эффекта «невыветания» - конфайнмента.

Сильные взаимодействия описываются фундаментальной теорией кварков и глюонов — квантовой хромодинамикой (КХД). В этой теории глюоны являются носителями сильных взаимодействий, которые связывают цветные заряды кварков и удерживают их в протонах и нейтронах, но также не могут наблюдаться в свободном состоянии (конфайнмент цветных зарядов). Эта теория эффективно может быть использована для исследования большинства наблюдаемых явлений физики сильных взаимодействий, в том числе при сверхвысоких энергиях, достижимых на современных коллайдерах.

Другие силы, электромагнитные и слабые, ослабевают с расстоянием между сталкивающимися частицами. Они являются проявлениями единой электрослабой теории. В электрослабом секторе элементарными частицами выступают кварки и лептоны: электроны, мю- и тау-мезоны, а также три соответствующих вида нейтрино. Носителями же электрослабых взаимодействий являются два промежуточных векторных бозона W , Z и фотон γ , рис. 1.1.

Единая электрослабая теория и КХД (в целом, они и называются Стандартной моделью — СМ) определяют взаимодействия элементарных частиц (кварков и лептонов) на масштабах до 10^{-17} см. Отметим, что лишь частицы первого поколения и фотон являются долгоживущими. Остальные частицы, состоящие из элементов второго и третьего поколения, быстро распадаются и могут изучаться преимущественно на ускорителях в специализированных детекторах.

ЦЕРН - всемирный центр исследований элементарных частиц

В настоящее время, наиболее продвинутым по инфраструктуре и хорошо оснащенным центром исследований в области физики высоких энергий является Европейский центр ядерных исследований (CERN), Женева, Швейцария-Франция. Созданный в ЦЕРНе Большой Адронный Коллайдер (LHC-БАК) начинает весной 2015г. новый виток ускорения протонов до энергий 13 тераэлектронвольт (13 ТэВ), а также тяжелых ионов до сравнимых энергий на один нуклон. Исследовательские программы ЦЕРНа - в принципе, международные и коллективные, т.к. мало какая страна может себе позволить ежегодную нагрузку на государственный бюджет в миллиарды долларов для проведения фундаментальных исследований в отдельном направлении.

Соглашение о создании ЦЕРНа было подписано в Париже в 1953 году представителями 12 европейских стран. Сегодня число стран-участников проекта равняется 20, общее количество сотрудников равно примерно 2,5 тысячам человек, дополнительно в ЦЕРНе трудятся около восьми тысяч физиков из 85 стран мира. Россия в

ЦЕРНе имеет статус наблюдателя, хотя и несколько сотен российских физиков и инженеров участвуют в исследованиях на детекторах БАК и в других экспериментах. В настоящее время Россия находится на конечной стадии процесса вступления в ЦЕРН в качестве ассоциированного члена, что даст новые возможности для участия в проектах ЦЕРНа на всех уровнях, начиная от студентов и аспирантов до ведущих ученых.

За время его 60-летней работы ЦЕРН на ускорителях SPS, LEP и LHC сделал основной вклад в открытие и проверку Стандартной модели элементарных частиц и их взаимодействия: в частности, были открыты нейтральные токи, а затем и промежуточные W-, Z-бозоны электрослабых взаимодействий. Нейтральные токи представляют собой проявление слабого взаимодействия, заключающееся в обмене виртуальными Z⁰-бозонами между кварками и лептонами без изменения заряда, в отличие от заряженного тока, в котором участвуют W[±]-бозоны.

Существование таких токов следует из теории электрослабых взаимодействий Салама-Глешоу-Вайнберга, они были теоретически предсказаны авторами в 1973 году. После открытия нейтральных токов Стандартная модель была признана верной. Сами частицы, W[±]- и Z⁰-бозоны, были открыты в первой половине 1980-х годов в ходе экспериментов на протонном суперсинхротоне SPS при энергии 320-630 гигаэлектронвольт. Открытие электрослабых промежуточных векторных бозонов позволило окончательно подтвердить правильность электрослабой теории. Однако механизм спонтанного нарушения симметрии Хиггса-Энглера-Браута появления массы у изначально безмассовых векторных бозонов в Стандартной модели, предсказывал наличие массивного скалярного бозона Хиггса, который безуспешно пытались найти с конца 60-х годов.

Большой адронный коллайдер ЦЕРН был запущен в конце 2009 года. Среди его многих наблюдений решающее открытие на данный момент было сделано в 2012-2013 гг. После многолетних поисков на разных ускорителях, экспериментами CMS и ATLAS был зарегистрирован и верифицирован последний недостающий «кирпич» Стандартной модели, скалярный бозон Хиггса массой 125-126 гигаэлектронвольт.

Согласно Стандартной модели бозон Хиггса является квантом вакуумного поля, заполняющим всю нашу Вселенную. Самодействие поля Хиггса и его взаимодействия с кварками, лептонами и векторными бозонами определяют величины их масс. Квантовые числа поля Хиггса совпадают с характеристиками незаряженного вакуума, и существует гипотеза, что его воздействие на вакуум в первые моменты рождения Вселенной руководило процессом формирования пространства и материи.

Новый этап ускорения протонов до энергий 13 тераэлектронвольт, который начинается весной 2015 года, будет сфокусирован на поиске явлений вне рамок и предсказаний Стандартной модели. Среди наиболее интересных предсказаний можно выделить явления и объекты, качественно меняющие наше понимание окружающего мира:

- новые тяжелые частицы, свидетельствующие о суперсимметрии между составляющими материи – кварками, лептонами и фермионами-суперпартнерами, с одной стороны, и полями взаимодействия – промежуточными векторными бозонами, фотоном, частицей Хиггса и бозонами-суперпартнерами, с другой стороны;
- составные частицы с массами порядка нескольких тераэлектронвольт, несущие информацию о новых составляющих материи – техникварках и техниглюонах;
- тяжелые «близнецы» существующих частиц, аномальный рост сечений рассеяния и процессы с потерей невидимой энергии, несущие информацию о дополнительных измерениях пространства;
- рождение микроскопических черных дыр и кротовых нор с характерными спектрами испарения в элементарные частицы, в случае, если гравитация в дополнительных измерениях является на несколько порядков сильнее, чем в нашем трехмерном пространстве.

Фундаментальные исследования на БАК ведутся преимущественно в международных коллаборациях на шести детекторах: ATLAS, CMS, ALICE, LHCb, TOTEM и LHCf.

Эксперимент на *детекторе ATLAS* (A Toroidal LHC ApparatuS), рис. 1.2, предназначен для исследования протон-протонных столкновений и поиска сверхтяжелых элементарных частиц, таких как бозоны типа Хиггса и суперсимметричные партнеры частиц Стандартной Модели.

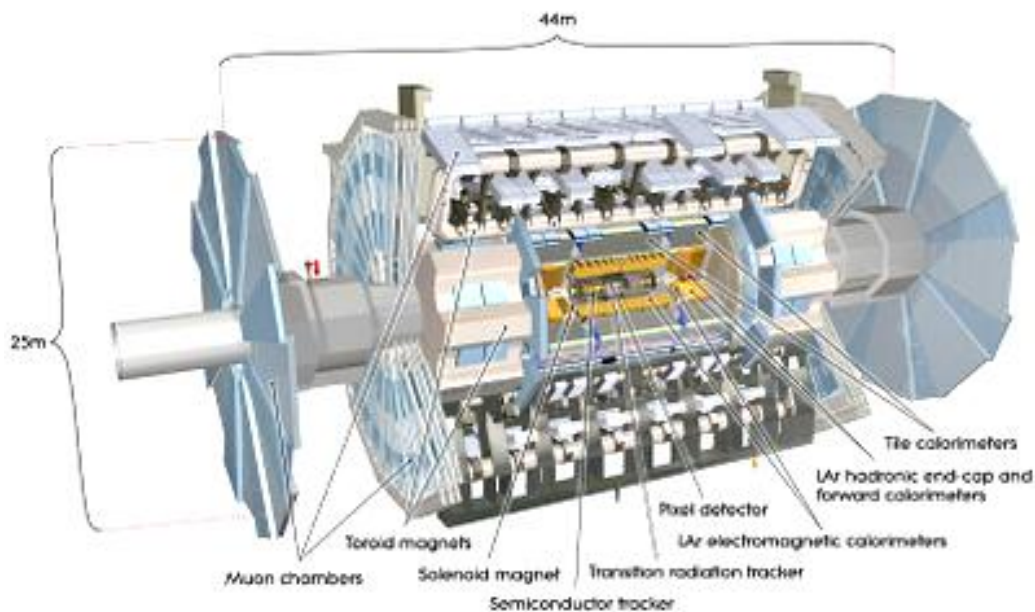


Рис. 1.2 – Детектор ATLAS в ЦЕРН

Детектор CMS (Compact Muon Solenoid), рис. 1.3, предназначен для поисков бозона Хиггса и «нестандартной физики», в частности тёмной материи.

Детектор ALICE (A Large Ion Collider Experiment), рис. 1.4, оптимизирован для изучения столкновений тяжёлых ионов, в частности столкновений ядер Pb-Pb при энергии в системе центра масс 2,76 ТэВ на нуклон-нуклонную пару. Согласно проведённым на ALICE измерениям, температуры и плотности энергии возникающей при этом ядерной материи оказалось достаточной для рождения кварк-глюонной плазмы, то есть состояния в котором кварки и глюоны находятся в состоянии деконфайнмента.

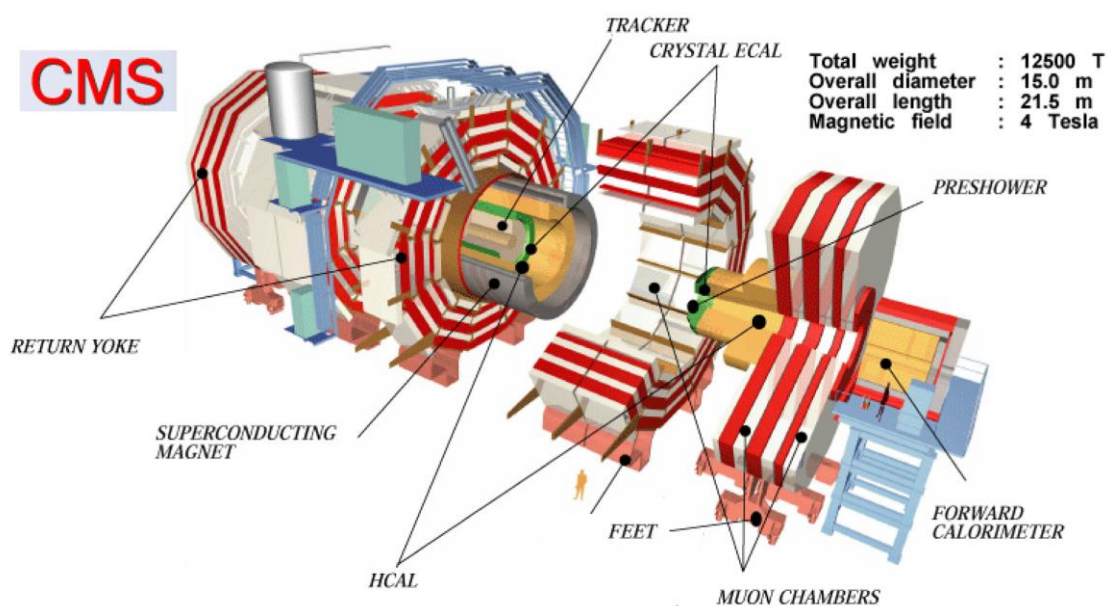


Рис. 1.3 – Детектор CMS

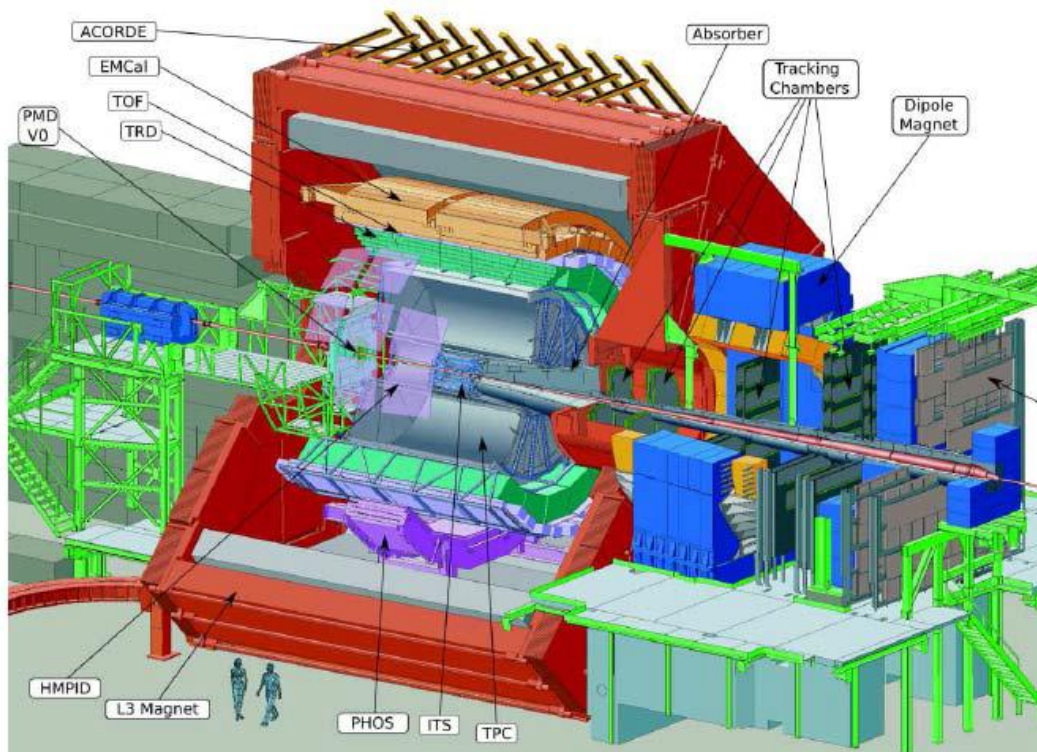


Рис. 1.4 – Детектор ALICE

Эксперимент на *детекторе LHCb* (Large Hadron Collider beauty), рис. 1.5, проводится для исследования асимметрии материи и антиматерии во взаимодействиях b -кварков. Он представляет собой одноплечевой спектрометр, способный регистрировать треки частиц в диапазоне углов от 15 до 300 мрад.

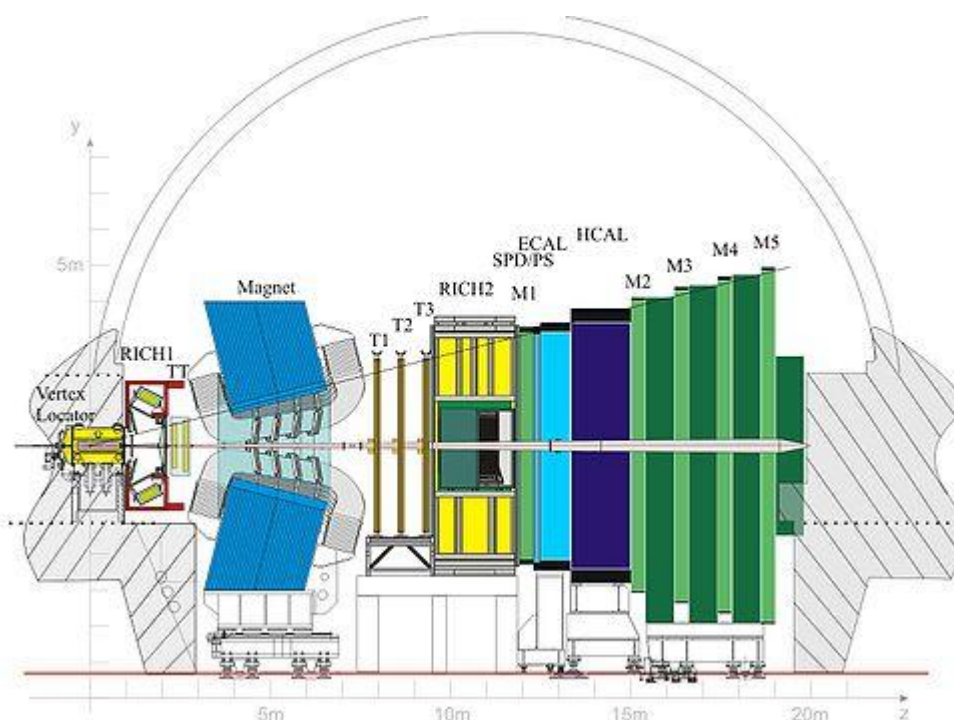


Рис. 1.5 – Детектор LHCb

Имеются также два относительно небольших детектора на БАК, которые по масштабам значительно уступают четырем вышеперечисленным установкам.

Детектор TOTEM (Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation) находится на том же пересечении пучков, что и мюонный соленоид (CMS) и предназначен для измерения полных сечений, упругих взаимодействий и дифракционных процессов. В совместных экспериментах CMS-TOTEM участвуют Петербургский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова и Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ).

Детектор LHCf (Large Hadron Collider forward) предназначен для измерения числа и энергии нейтральных пионов π^0 , вылетающих в направлении, которое практически совпадает с направлением сталкивающихся протонов. Данные LHCf должны помочь в анализе происхождения космических лучей сверхвысоких энергий.

Кроме БАК в ЦЕРНе продолжаются эксперименты на *протонном суперсинхротроне SPS* (Super Proton Synchrotron) - кольцевом ускорителе частиц с длиной кольца 6.9 км. В настоящее время SPS используется в качестве заключительного предускорителя протонных пучков для Большого адронного коллайдера, но также и как источник протонов с энергией 400 ГэВ и тяжелых ионов с энергией до 40 ГэВ на нуклон для экспериментов с фиксированной мишенью COMPASS, NA48 и NA61/SHINE и NA62. Протонный пучок используется также в качестве интенсивного источника мюонов и нейтрино. В эксперименте NA61/SHINE по изучению физики соударений тяжелых ионов участвуют физики из Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). В подготовке недавно предложенного эксперимента SHiP (Search for Hiding Particles) по поиску тяжелых лептонов, которые могут составлять основу темной материи, участвуют ПИЯФ и СПбГПУ.

ПИЯФ также участвует в эксперименте UA9 по повороту протонных пучков с помощью изогнутых кристаллов на ускорителях SPS и LHC. Эти исследования являются прямым продолжением экспериментов в ОИЯИ, ПИЯФ и ИФВЭ. Основная цель эксперимента изучение возможностей изогнутых кристаллов для коллимации пучков БАК для увеличения их светимости, а также для выведения пучков из БАК для экспериментов на фиксированной мишени.

Наряду с собственно экспериментами в области физики высоких энергий работа ученых в ЦЕРНе является наиболее яркой иллюстрацией общей ситуации, как фундаментальная наука способствует прогрессу прикладных технологий и всего общества

в целом, а ее результаты дают ответ на вопрос о целесообразности подобных исследований. Недавно организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) положительно оценила экономические и социальные последствия воздействия исследовательских инфраструктур Большого адронного коллайдера в ЦЕРН. Физика высоких энергий не только приводит к новым открытиям в микромире, но и рождает новые передовые технологии: для мощных энергетических установок, для обработки огромных массивов данных (суперкомпьютеры), их высокоскоростной передачи (Интернет), распределения их между партнерами по всему миру для совместного изучения (ГРИД).

Среди различных фундаментальных и сопутствующих им прикладных исследований в ЦЕРНе следует особо отметить вклад Тим'а Бернерс-Ли с коллегами, которые изобрели новое применение сети Интернет с созданием идентификаторов URL (в том числе протокола http) и языка гипертекста HTML и технологии всемирной паутины World Wide Web для визуализации удаленного анализа данных. В 1989 году Бернерс-Ли впервые ввел в работу веб-сервер, сайт и браузер WWW. Будучи первоначально закрытой сетью, предназначенной к использованию внутри ЦЕРНа, 30 апреля 1993-го система стала открытой для всего мира. ЦЕРН специально поддерживает открытым патент WWW сети Интернет.

Начиная с конца 1990-х годов в ЦЕРНе интенсивно развивается технология Грид-вычислений (от английского grid — решетка, сеть). Эта система представляет собой объединение компьютеров, мощности которых используются совместным образом для проведения ресурсоемких вычислений. Таким образом, если сеть Интернет представляет собой распределенную систему хранения и представления данных, то технология Грид является распределенной вычислительной системой. Объем данных, генерируемых экспериментами на БАК, увеличивается примерно на 10 петабайт (10^{15} байт) каждый год. В этой ситуации коллективная обработка данных неопределима. В ЦЕРНе для обеспечения обработки данных, поступающих с Большого адронного коллайдера, функционирует система Грид LCG (LHC Computing Grid), доступ к которой имеют 11 ведущих научных центров (центры первого уровня), одновременно выступающих резервными хранилищами данных, к которым подключены остальные — примерно 150 — центров второго уровня (научные центры, институты, университеты). В настоящее время в НИЦ “Курчатовский институт” и ОИЯИ создаются центры LCG первого уровня. Ведущие российские центры и институты (ОИЯИ, НИЦ КИ, ИФВЭ, ПИЯФ, ИТЭФ, ИЯИ, ИЯФ, НИИЯФ МГУ, СПбГУ) имеют центры LCG второго уровня, они перерабатывают и хранят около 6 % информации БАК.

Немаловажными являются применения ускорительных пучков для лечения злокачественных опухолей, т.е. развитие протонной медицины. Эксперты из ОЭСР особое внимание уделили двум проектам ЦЕРНа: созданию сверхпроводящих магнитов и адронной терапии для лечения раковых опухолей. По мнению экспертов, разработанные в ЦЕРНе технологии по созданию, монтажу и эксплуатации сверхпроводящих магнитов в скором времени найдут широкое применение в массовой промышленности.

Уместно отметить, что с этого года в ведущих мировых центрах физики элементарных частиц доступ к данным экспериментов становится публичным как для профессионалов, так и для любителей в образовательных целях.

Исследованиями в области физики высоких энергий в США и Японии

В настоящее время физика элементарных частиц и физика высоких энергий в США развивается в Национальной Ускорительной Лаборатории им. Ферми (Чикаго), Брукхейвенской Национальной Лаборатории (Нью-Йорк) и Лаборатории им. Джефферсона (Ньюпорт-Ньюс). После закрытия в конце 2011 г. в Фермилабе протон-антипротонного коллайдера Тэватрон с энергией 2 ТэВ, который проработал более 20 лет, две коллаборации CDF и D0, открывшие топ-кварк Стандартной модели в 1995 г., продолжают анализ набранных данных. Использование антипротонных пучков на Тэватроне дает преимущество даже по сравнению с БАК по измерению некоторых характеристик, таким как, в частности, время жизни топ-кварка – самой тяжелой из известных частиц Стандартной модели.

Физика высоких энергий в России

До начала перестройки российские научные центры - ОИЯИ (Дубна), ИФВЭ (Протвино), ЛИЯФ (ныне ПИЯФ) (Гатчина), ИТЭФ (Москва), ИЯИ (Москва) и ИЯФ (Новосибирск) были лидерами мировых достижений в области ускорительной физики высоких энергий, но в значительной степени утратили ведущие позиции в период перестройки. Причины известны – существенное снижение финансирования текущих экспериментов, закрытие перспективных программ создания ускорителей нового поколения в России таких, как, например, Ускорительно-Накопительный Комплекс в Протвино, где планировались протон-антипротонный коллайдер на 6 ТэВ и линейный электрон-позитронный коллайдер на 500 ГэВ, а также, конечно, потеря значительной части интеллектуального - научного и инженерного - потенциала. После существенного снижения востребованности в России многие специалисты по ускорительной технике и созданию детекторов, а также исследователи в области физики высоких энергий и

элементарных частиц нашли свое применение в проектах в ведущих мировых центрах ядерной физики и физики высоких энергий или просто ушли из науки.

Соответственно, центральные экспериментальные исследования, в лучшем случае, переместились в Европу, США, Японию, а в последнее десятилетие и в Китай. Теоретические исследования, без которых трудно и понимать полученные результаты и проектировать новые эксперименты, также в серьезной степени перекочевали за границу. Нужно отметить, что мировая тенденция в физике элементарных частиц и физики высоких энергий также состоит в том, что большая часть исследователей после окончания аспирантуры и получения степени или после последующей стажировки уходят в высокотехнологичный бизнес или промышленность. Это значительно повышает их уровень и дает существенную основу для их развития.

Однако, несмотря на то, что ситуация в российской фундаментальной науке в постсоветское время носила практически катастрофический характер, благодаря экстраординарным усилиям самих ученых в некоторых ведущих российских центрах остались сильные научные группы, способные конкурировать на мировом уровне.

В этой ретроспективе и современной ситуации можно надеяться, что поддержка российских групп, участвующих в международных экспериментальных и теоретических коллаборациях в ведущих мировых ускорительных центрах, может удержать российские исследования на высоком профессиональном уровне и обеспечить их приоритеты в открытиях новых знаний в области физики элементарных частиц даже при относительно скромных затратах на предварительную подготовку и прогнозирование экспериментов на базе национальных исследовательских центров.

*Научно-технический потенциал Санкт-Петербурга в области физики
высоких энергий*

Научно-технический потенциал Санкт-Петербурга в области физики высоких энергий и физики элементарных частиц, в основном, сосредоточен

- в Петербургском институте ядерной физики им.Б.П.Константинова НИЦ «Курчатовский Институт» в Отделении физики высоких энергий (ОФВЭ), в Отделении теоретической физики (ОТФ) и в Отделении нейтронных исследований (ОНИ);
- в Санкт-Петербургском государственном университете на Физическом факультете на Кафедре физики высоких энергий и элементарных частиц, Лаборатории сверхвысоких энергий, и на Кафедре ядерно-физических методов исследования;

- в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (СПбГПУ) на Кафедре экспериментальной ядерной физики.

Введенный в строй в 1970 г. протонный синхроциклотон ОФВЭ ПИЯФ до сих пор играет важную роль. Протонный пучок с энергией 1 ГэВ используется с одной стороны для изучения структуры ядра, получения редких тяжелых ядерных изотопов и служит источником для единственного в России мюонного пучка. С другой стороны, ускоритель интенсивно использовался и используется для оптимизации и тестов прототипов детекторов и субдетекторов с последующим использованием на установках БАК в ЦЕРНе. Протонный пучок энергией 1 ГэВ используется также для протонной терапии, более 1300 человек прошли облучение за эти годы.

ОФВЭ ПИЯФ тесно сотрудничает с ведущими российскими ускорительными центрами. В ИФВЭ на ускорителе У-76 были проведены успешные эксперименты по малоугловому рассеянию протонов, в ОИЯИ – опыты по изучению малонуклонных систем при промежуточных энергиях. В настоящее время в ОФВЭ ПИЯФ проводится обработка данных эксперимента ЭПЕКУР, проведенного в ИТЭФ, по поиску экзотических адронных резонансов, в том числе 5-ти кварковых барионов, предсказанных сотрудниками ОТФ ПИЯФ в 1997 г. Сотрудники ОФВЭ ПИЯФ принимают участие в подготовке предложения для поиска сверхплотной холодной ядерной материи для коллайдера тяжелых ионов NICA в ОИЯИ.

С начала 1980-х ОФВЭ ПИЯФ активно сотрудничает с Фермилабом. Успешно проведены с определяющим вкладом ОФВЭ ПИЯФ эксперименты E715 и E761 по редким распадам гиперонов и SELEX (E781) по образованию очарованных частиц на выведенном гиперонном пучке ускорителя Тэватрон в Фермилабе. С 1996 г. ОФВЭ участвует в эксперименте D0. В настоящее время проводится завершающая обработка данных D0, полученных на коллайдере Тэватрон, закрывшегося в конце 2011 года. С середины 1990-х ОФВЭ ПИЯФ принимают участие в эксперименте RHENIX, получившим указания на открытие нового вида вещества – сверхтекучей глюонной жидкости - на коллайдере ультрарелятивистских ионов RHIC в Брукхейвенской национальной лаборатории.

ОФВЭ ПИЯФ активно сотрудничает в области релятивистской ядерной физики и физики промежуточных энергий с ускорительными центрами в Германии: GSI и FAIR (Дармштадт), ДЭЗИ (Гамбург), ИКР (Юлих), а также с ускорительными комплексами, расположенными в Майнце и Бонне. Новый ускорительный комплекс тяжелых ионов FAIR (Дармштадт), направленный на поиски сверхплотных состояний ядерной материи должен войти в строй в 2019 г.

ОФВЭ ПИЯФ тесно сотрудничает с ЦЕРН с 1967 г., когда был подписан договор о взаимном сотрудничестве. В 1970-х были успешно проведены эксперименты NA8 и WA9 по малоугловому рассеянию протонов. С конца 1980-х ОФВЭ ПИЯФ активно участвовал эксперименте L3 на электрон-позитронном коллайдере LEP, закрывшегося в 2001 году.

С начала 1990-х ОФВЭ ПИЯФ принимает активное участие в экспериментах на БАК CMS, ATLAS, ALICE, LHCb и CMS-TOTEM. На стадии подготовки экспериментов сотрудники ПИЯФ внесли определяющий вклад в создание различных систем этих детекторов. В частности, большая часть торцевых мюонных систем детекторов CMS и LHCb, часть мюонной системы ALICE и TOTEM, значительная часть трековой системы переходного излучения ATLAS были созданы сотрудниками ОФВЭ ПИЯФ. В настоящее время ОФВЭ ПИЯФ проводит большую работу по поддержке и модернизации детекторов, а также по анализу данных. Программа по модернизации детекторов и по физике БАК определена вплоть до 2030 года.

ОФВЭ ПИЯФ принимает участие также в подготовке предложения нового эксперимента SHiP на ускорителе SPS ЦЕРНа по поиску темной материи. ОФВЭ ПИЯФ также тесно сотрудничает со Швейцарской мезонной фабрикой (Цюрих). Недавно закончившийся эксперимент MuCar, значительно уточнивший значение псевдоскалярной константы связи слабых взаимодействий, и продолжающийся эксперимент MuSun входят в число приоритетных мировых экспериментов в данной области.

Отделение нейтронных исследований ПИЯФ принимает участие в экспериментах по свойствам нейтрона и нейтрино. Оно известно своими исследованиями по поиску электрического дипольного момента нейтрона на реакторе ВВР-М в Гатчине и в ИЛЛ в Гренобле, недавно получило уточненное время жизни нейтрона, что привело к пересмотру величины асимметрии «вещество-антивещество» во Вселенной. В настоящее время в ОНИ ПИЯФ проводится эксперимент «Нейтрино-4» по поиску нового вида «стерильного» нейтрино. Сотрудники ОНИ ПИЯФ принимают участие в эксперименте SNOOZ в Франции по изучению осцилляций электронного нейтрино и в эксперименте BOREXINO по изучению солнечных низкоэнергетических нейтрино.

Теоретические исследования сотрудников ПИЯФ занимали и занимают ведущие позиции в физике элементарных частиц и физике высоких энергий. Во многом, это определялось школой и традициями созданными в время работы в ФТИ и ПИЯФ выдающегося физика-теоретика, члена-корреспондента АН СССР В.Н. Грибова. Созданная им и его учениками эффективная теория поля с взаимодействующими реджеонами и введенным им вакуумным реджеоном – помероном, составила основу современной теории сильных взаимодействий при высоких энергиях.

Новаторский подход Грибова и его учеников в квантовой электродинамике при высоких энергиях привел к знаменитым уравнениям эволюции Грибова-Липатова-Альтарелли-Паризи-Докшицера (ГЛАПД) в квантовой хромодинамике. В пределе высоких энергий, когда энергия превышает все остальные параметры процесса рассеяния, было открыто новое уравнение эволюции в неабелевых калибровочных теориях. При аналогичном подходе в квантовой хромодинамике было получено уравнение Балицкого-Фадына-Кураева-Липатова (БФКЛ), являющееся одним из главных направлений современной физики высоких энергий. Недавняя популярная гипотеза о дуальности многомерной гравитации и 4-х мерной конформной квантовой теории находит подтверждение в работах Л.Н. Липатова и сотрудников в рамках БФКЛ-уравнения суперсимметричной квантовой хромодинамики при высоких энергиях. С другой стороны, в экспериментах ускорителях ГЕРА в ДЭЗИ и LEP в ЦЕРН были получены указания на проявление БФКЛ-динамики. В настоящее время в экспериментах CMS и ATLAS на БАК ведутся поиски непосредственных проявлений БФКЛ, как новых эффектов Стандартной модели в новом диапазоне энергий.

Предсказания сотрудников ОТФ ПИЯФ по существованию долгоживущих многокварковых барионов нового типа дало сильный импульс как в теоретическом так и экспериментальном направлениях. В настоящее время во многих ускорительных центрах проводятся поиски таких экзотических состояний и ведутся широкие теоретические исследования в области непертурбативной квантовой хромодинамики, включая компьютерные вычисления на решетках.

Исследования по физике высоких энергий и физике элементарных частиц в ПИЯФ, в настоящее время входящем в состав НИЦ “Курчатовский институт”, достойно вышли из испытаний 1990-х годов и продолжают занимать ведущие мировые позиции, во многом благодаря тесному международному сотрудничеству. Немаловажную роль сыграли также проводимые регулярно Зимние школы ПИЯФ, в 2016 году должна состояться уже 50-я Школа.

СПбГУ входит полноправным участником проекта ALICE на БАК с 1992 года, эти работы в настоящее время ведет Лаборатория физики сверхвысоких энергий. В ней были выполнены разработки двух центральных систем ALICE, созданы и испытаны новые технологии и детекторы, получено несколько патентов на изобретения. Включиться - в тяжелом 1992 году - в крупнейший эксперимент ALICE по тяжелоионным столкновениям, в качестве лидера по двум подсистемам, СПбГУ удалось в результате победы предложений в международном конкурсе идей по детектирующим системам будущего

эксперимента. Это продемонстрировало высочайший уровень школы ядерной физики Санкт-Петербургского университета. В итоге, разработки СПбГУ внесли значимый и признанный вклад в создание Внутренней трековой системы ALICE, успешно работающей в течение всех лет эксплуатации БАК.

За последние 10 лет в СПбГУ разработана собственная физическая программа исследований в эксперименте ALICE, подготовлена инфраструктура, обеспечивающая как обработку данных БАК на основе мировой вычислительной грид-платформы WLCG, так и учебно-образовательный процесс. Сегодня СПбГУ участвует и в работах по будущей модернизации кремниевой трековой системы ALICE 2012-2017 годов.

СПбГУ является также участником консорциума NICA-MPD в ОИЯИ (Дубна). С 2004 года университет стал одним из первых российских участников мирового грида для БАК (WLCG). Необходимо также добавить, что в 2004-2007 годах, кроме участия в программе фундаментальных исследований на БАК, в СПбГУ в тесном взаимодействии с Европейской исследовательской сетью адронной терапии ENLIGHT++ в ЦЕРН и медиками Санкт-Петербурга, в СПбГУ был подготовлен и направлен правительству Санкт-Петербурга проект Центра адронной терапии для Северо-Западного региона РФ.

Очевидны важность и значимость для Физического факультета - и для СПбГУ в целом - как ведущихся сегодня на переднем крае науки, так и новых фундаментальных и прикладных исследований, которые планируются в ЦЕРН и в ОИЯИ на ближайшие 10-15 лет. Участие в данных перспективных работах обеспечивает как сохранение достигнутых специалистами СПбГУ высот, так и развитие в СПбГУ новых научно-исследовательских программ и междисциплинарных направлений (среди них такие, как кварк-глюонная плазма и материя в экстремальных состояниях, проблема деконфайнмента и поиск критической точки ядерной материи, разработка новых детекторов, экспериментальные разработки для ядерной медицины, радиофармпрепараты, адронная терапия, современные био-физические исследования для целей адронной терапии, GRID и информационные технологии, и т.д.).

Кроме участия в программе БАК, СПбГУ с 1996 по 2011 входил в состав международной научной коллаборации эксперимента NA57 по исследованию рождения странных и мультистранных частиц в ультрарелятивистских ядро-ядерных столкновениях на SPS. С 2006 года СПбГУ участвует в эксперименте NA61/SHINE на SPS, нацеленном на поиск критической точки ядерной материи и исследования явления конфайнмента кварков. Главной целью этих работ является получение на основе исследования столкновений релятивистских адронов новых знаний о фундаментальных свойствах

материи при сверхвысоких давлениях, плотностях и температурах, а также исследования явлений фазового перехода из адронной материи в состояние кварк-глюонной плазмы.

Новизна данных исследований, предложенных и разработанных в СПбГУ, состоит в поиске нового физического явления слияния кварк-глюонных струн, определяющего начальные этапы столкновений адронов и возможные условия образования кварк-глюонной плазмы. Эта тема обсуждалась коллаборацией ALICE и в 2005 году вошла в программу физических исследований на пучках протонов и ядер свинца на БАК. Тематика предполагает дальнейшее развитие в 2014-2020 годах экспериментальных и теоретических методов исследований, анализа процессов столкновений релятивистских адронов, разработку новых этапов физической программы, моделирование и развитие методов изучения дальних корреляций, и детальный, углубленный анализ физической информации, поступающей в эксперименте ALICE на Большом адронном коллайдере в ЦЕРН.

Развитие Грид-технологий в СПбГУ и в РФ (World wide Large hadron collider Computing Grid - WLCG) с целью обеспечения накопления, обработки и анализа данных мегаустановки ALICE на БАК. Важность, перспективность и новизна данной тематики определяется участием СПбГУ совместно с коллаборацией ALICE в развитии новых направлений по информационным технологиям, которые должны обеспечить высокопроизводительные вычисления для целей обработки и анализа в условиях существенного увеличения потока данных мегаустановки ALICE на БАК в 2015-2018 годах. В частности, будут продолжены начатые в 2013 году новые работы по созданию тестового облака на кластере СПбГУ, связанного с ЦЕРН и другими центрами.

Сотрудники Кафедры экспериментальной ядерной физики СПбГПУ традиционно совместно с исследовательскими группами ПИЯФ участвуют в экспериментальных программах ведущих ускорительных центров. Сотрудники кафедры участвуют в эксперименте PHENIX в Брукхейвенской национальной лаборатории (Нью-Йорк) на коллайдере ультрарелятивистских тяжелых ионов RHIC, в экспериментах ALICE, ATLAS и CMS на БАК, в подготовке предложения нового эксперимента SHiP на ускорителе SPS ЦЕРН по поиску темной материи.

1.4 Ядерная физика

Исследования в области ядерной физики низких и средних энергий являются составной частью исследований в области ядерной физики и физики элементарных частиц, предметом которых выступают наименьшие по размерам объекты материального мира из всех доступных в настоящее время человечеству. Международным союзом по чистой и прикладной физике (IUPAP) в 2005 году создана рабочая группа по международному сотрудничеству в области ядерной физики (WG.9). В эту группу входят руководители ведущих мировых исследовательских центров из 13 стран (Россию представляет директор ОИЯИ академик В.А.Матвеев). Одной из целей WG.9 является формулировка основных задач, которые предстоит решать ядерной физике в предстоящие 10-20 лет. На 2014 г. основными признаны следующие вопросы:

1. Могут ли структура и взаимодействие адронов быть поняты на основе квантовой хромодинамики?

Целями исследований должны быть описание движения кварков и глюонов в нуклонах, выяснение формирования спинов нуклонов как суммы спинов и орбитальных моментов их составных частиц, описание свойств нуклонов и атомных ядер на основе квантовой хромодинамики.

2. Какова структура ядерной материи?

Создание теории сложных ядер, обладающей способностью не только описывать существующие ядра, но и предсказывать свойства новых ядер, является одной из основных целей ядерной физики. Традиционно используются два подхода. Первый (*ab initio*) стремится к построению теории на основе квантовой хромодинамики через построение эффективного нуклон-нуклонного взаимодействия. Второй подход использует двух- и трех- нуклонные феноменологические силы в ядерной среде, зависящие от плотности и содержащие подгоночные параметры (например, метод функций Грина, модель оболочек с остаточным взаимодействием, метод функционала плотности). Мостиком между первым и вторым подходом является построение зависящего от плотности взаимодействия на основе кварковых моделей. К настоящему времени достигнуты определенные успехи в описании свойств легких ядер, но отсутствует теория, описывающая ядра с большим числом нуклонов. Особое значение приобретает также построение теории, способной описывать радиоактивные ядра и предсказывать их свойства. Заказ на такое описание поступает со стороны ядерной астрофизики, поскольку такие ядра участвуют в процессе развития Сверхновой и в процессе нуклеосинтеза. Интересы исследователей сдвигаются в сторону исследования экстремальных состояний

ядерной материи: ядра, удаленные от полосы стабильности, явление супердеформации в атомных ядрах, сверхтяжелые атомные ядра, явление ядерного гало. Большинство таких нуклидов являются короткоживущими, поэтому для их исследования применяются ускорители на радиоактивных пучках.

3. Какова роль ядерных процессов в формировании Вселенной?

Первичный нуклеосинтез сразу после большого взрыва привел к образованию ядер H, He, Li. Все остальные элементы образовались в процессах ядерных реакций в звездах, взрывах сверхновых, и др. В этой области наблюдается теснейшая связь ядерной физики и астрофизики. Процессы коллапса сверхновых, охлаждения нейтронных звезд и многие другие для своего объяснения требуют знания особенностей процессов с участием радиоактивных элементов, образующихся в звездах при высоких энергиях. С появлением ускорителей на радиоактивных пучках ядерная астрофизика испытала второе рождение, так как возникла возможность измерить массы, времена жизни, вероятности образования и схемы распада образующихся в экстремальных условиях радиоактивных ядер новых элементов. В последние десятилетия предпринимаются особые усилия для объяснения синтеза новых элементов (r-процесс) в процессе взрыва Сверхновых.

4. Какая физика за пределами Стандартной модели («новая физика»)?

Хотя Стандартная модель получила многочисленные подтверждения, ряд процессов указывает на необходимость её изменения. Астрономические данные показывают, что наряду с видимой частью материи, около 22% энергии Вселенной сосредоточено в частицах, которые до сих пор не обнаружены в лабораториях (аксионы, суперсимметричные частицы и т.д.) и не укладываются в Стандартную модель.

- Во Вселенной очевидно преобладание материи над антиматерией, что не объясняется Стандартной моделью. Возможное решение этой проблемы лежит в присутствии новых взаимодействий, которые нарушают инвариантность относительно обращения времени, и, соответственно, комбинированную четность относительно зарядового сопряжения и пространственного отражения. Наличие электрического дипольного момента у элементарных частиц (в частности, нейтрона) было бы указанием на такое нарушение.
- Стандартная модель не предсказывает существование массы у нейтрино, в то время как наличие нейтринных осцилляций как солнечных нейтрино, так и реакторных антинейтрино естественным образом объясняется введением нейтринной массы. Большое значение имело бы открытие двойного безнейтринного бета-распада,

поскольку это нарушает закон сохранения лептонного заряда и возможно только при наличии массы у нейтрино.

Исследования по многим из этих направлений ведутся в Санкт-Петербурге. Остановимся на тех результатах, которые получили признание в профессиональном сообществе и являются наиболее интересными.

*Прецизионное измерение скорости мюонного захвата в водороде и
определение псевдоскалярного формфактора нуклона*

Исследование структуры нуклонов является одним из основных направлений физики элементарных частиц. В рамках современной теории частиц (т.н. Стандартная Модель) электрослабое взаимодействие нуклонов описывается четырьмя формфакторами. Три из них измерены с хорошей точностью. До сих пор не определен лишь четвертый – псевдоскалярный формфактор g_p . В принципе, этот формфактор можно определить, измеряя скорость ядерного захвата мюонов в водороде в реакции $(\mu^- p)_{1S} \rightarrow n + \nu_\mu$. Попытки таких измерений предпринимались в течение последних 40 лет. Однако полученные в этих экспериментах результаты были недостаточно точны, к тому же эксперименты были выполнены в условиях, не обеспечивающих однозначную интерпретацию полученных данных. С помощью разработанного в ПИЯФ оригинального экспериментального метода была на порядок повышена точность определения скорости захвата мюона протоном, причем в условиях, позволяющих однозначную интерпретацию экспериментальных данных. Решающим требованием для выполнения этого эксперимента была сверхвысокая чистота водорода от химических примесей (таких как кислород, азот, пары воды), а также от примеси тяжелого изотопа водорода - дейтерия. Измерения выполнены на уникальном по интенсивности мюонном канале Швейцарской мезонной фабрики (Институт им. Пауля Шеррера, PSI) в рамках эксперимента MuCap.

Интерес к измерению псевдоскалярного формфактора вызван не только тем, что, наконец, измерена недостающая часть амплитуды слабого взаимодействия нуклона. Важным также оказался другой аспект, связанный с возможностью проверки предсказаний развиваемой в настоящее время теории НВСРТ (Heavy Baryon Chiral Perturbation Theory). Эта теория основана на предложенном Намбу механизме нарушения киральной симметрии (Нобелевская премия 1980 года). НВСРТ претендует на описание процессов с участием нуклонов при небольших энергиях. Одним из важных предсказаний теории является вычисление псевдоскалярного формфактора: $g_p^{\text{Theory}}(q_c^2) = 8.26 \pm 0.23$.

Сравнение с величиной $g_p^{\text{Expt}}(q_c^2) = 8.06 \pm 0.5$, измеренной в эксперименте MuCap, является подтверждением заложенных в теорию фундаментальных принципов.

Прецизионное измерение масс изотопов нобелия и лоуренсия

Исследование посвящено одному из важных разделов физики экзотических нуклидов - области тяжёлых и сверхтяжёлых ядер. Эта область интересна не только своей удалённостью от известных нуклидов, но и необычностью их структуры, вызванной большими массами, размерами и зарядовыми значениями. Она интересна в свете возможности расширения Периодической системы Менделеева включением в неё неизвестных элементов. Триумфальные открытия новых химических элементов этой системы, выполненные в последнее десятилетие в лаборатории академика Ю.Ц.Оганесяна в ОИЯИ (Дубна), показали необычную относительную устойчивость открытых сверхтяжёлых нуклидов. В то же время, положение максимума предполагаемого острова повышенной устойчивости Сверхтяжёлых остаётся неизвестным. Этот вопрос может быть решён изучением поверхности масс и идентификацией новых «магических» чисел нуклонов, составляющих ядро и способствующих его повышенной стабилизации.

Особенно важной является возможность реализации прямого и прецизионного измерения масс нуклидов с помощью ионных ловушек Пеннинга. Эти ловушки никогда не использовались в измерениях с нуклидами тяжелее урана. Впервые такие измерения в области трансфермиевых элементов ($Z > 100$) были осуществлены при активном участии физиков ПИЯФ в Ядерном центре тяжелых ионов GSI (Дармштадт) на установке SHIPTRAP. В результате впервые измерены, к тому же прямым способом, массы пяти трансфермиевых ядер изотопов нобелия и лоуренсия: ^{252}No , ^{253}No , ^{254}No , ^{255}Lr , ^{256}Lr , заложившие базис отсчёта абсолютных величин масс в «море» альфа-нестабильности. Измеренные значения масс этих ядер с точностью лучшей 10^{-7} и известные энергии альфа-цепочек в этой области ядер позволили определить еще более 40 масс ядер сверхтяжелых элементов, включая такие тяжелые, как Rf ($Z = 104$), Db ($Z = 105$), Sg ($Z = 106$), Hs ($Z = 108$) и Ds ($Z = 110$), положившие начало постарения ландшафта масс сверхтяжёлых.

Анализ «массовой поверхности» привёл к прямому экспериментальному доказательству существования новой нейтронной оболочки $N=152$. Эти результаты считаются одним из самых ярких достижений европейской ядерной физики. Никогда ранее в практике эксплуатации ионных ловушек не удавалось измерить массы нуклидов с сечением их образования около 50 нбарн, как это было в случае ^{256}Lr , кстати, самого тяжелого по массовому числу нуклиду, когда либо измеренному прямым способом.

*Исследование пространственного распределения ядерной материи
в экзотических нейтронно-избыточных ядрах*

В ПИЯФ был предложен новый метод исследования пространственной структуры экзотических ядер – посредством упругого рассеяния этих ядер с энергией ~ 1 ГэВ/нуклон на протонах с использованием созданной в ПИЯФ водородной активной мишени (ионизационный спектрометр протонов отдачи, ИКАР). Исследования проводились в Ядерном центре тяжелых ионов GSI (Дармштадт). Были исследованы ядра: ${}^6\text{He}$, ${}^8\text{He}$, ${}^8\text{Li}$, ${}^9\text{Li}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^8\text{B}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{11}\text{Be}$, ${}^{12}\text{Be}$, ${}^{14}\text{Be}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^{15}\text{C}$, ${}^{17}\text{C}$. В результате получены уникальные данные о распределении ядерной материи, о размерах ядерного кора и ядерного гало. Например, в ${}^{14}\text{Be}$ получено значение среднеквадратичного радиуса 3.25 (11) фм, а поведение сечения рассеяния описывается лучше в предположении, что ${}^{14}\text{Be}$ состоит из 2-х нейтронов в гало и кора ${}^{12}\text{Be}$. ${}^{12}\text{Be}$ также имеет гало, образованное 2-мя нейтронами и кор ${}^{10}\text{Be}$ (среднеквадратичный радиус распределения ядерного вещества 2.71(6) фм).

Получение и исследование короткоживущих ядер

В ПИЯФ создан уникальный лазерно-ядерный комплекс УЛИСС, предназначенный для получения и исследования на синхроциклотроне ПИЯФ ядер вблизи границы протонной и нейтронной устойчивости методом резонансной ионизации атомов в лазерном ионном источнике. Впервые этот метод был предложен и осуществлен в ПИЯФ на установке ИРИС. На лазерно-ядерном комплексе УЛИСС (ПИЯФ) и установке ISOLDE (ЦЕРН) была проведена серия экспериментов по исследованию зарядовых радиусов и электромагнитных моментов ядер цепочек около 80 нейтронно-дефицитных радионуклидов: ${}^{192-211}$, ${}^{216-219}\text{Po}$, ${}^{178-207}\text{Tl}$, ${}^{197-211}$, ${}^{217}\text{At}$ и ${}^{177, 182, 185, 191}\text{Au}$. Полученные результаты важны для дальнейшего развития теории ядра. В экспериментах, проведенных на установке ISOLDE (ЦЕРН), обнаружено новое явление - асимметричное запаздывающее деление ядра ${}^{180}\text{Tl}$. Впервые надежно установлено существование запаздывающего деления у ядер со столь малым отношением $N/Z=1.25$.

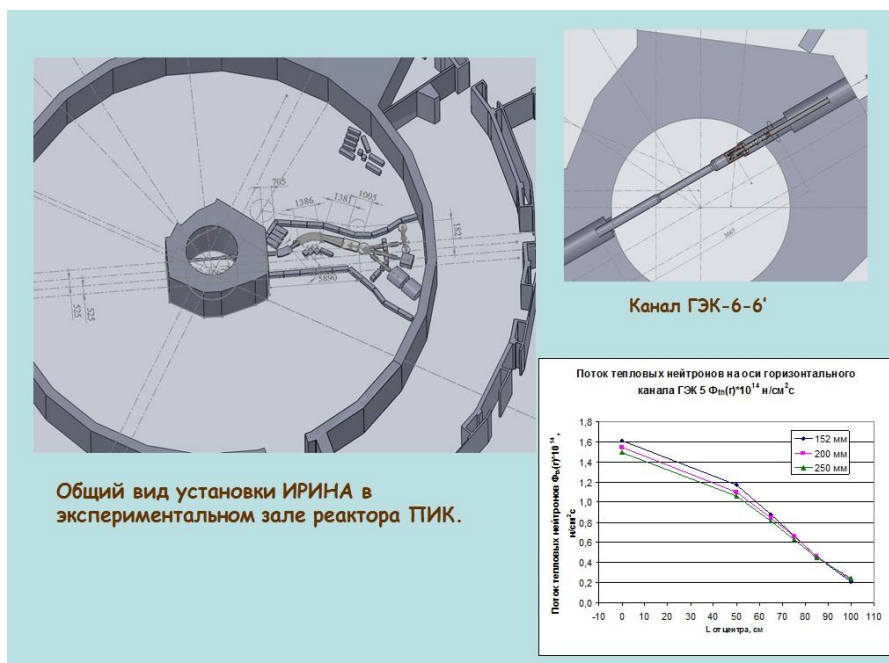


Рис. 1.6 – Общий вид установки ИРИНА в экспериментальном зале реактора ПИК

В настоящее время в ПИЯФ разрабатывается аналогичный проект масс-сепараторного лазерного комплекса ИРИНА (рис. 1.6) для получения и исследования короткоживущих ядер на реакторе ПИК. Этот комплекс обеспечит самый высокий в мире выход нейтронно-избыточных ядер. Кроме исследования формы и структуры экзотических ядер с использованием лазерного ионного источника, на комплексе ИРИНА планируется создание уникальной установки для прецизионного измерения масс удаленных ядер с использованием ионной ловушки Пеннинга. Получение и исследование экзотических крайне удаленных нейтронно-избыточных ядер позволит изучать астрофизические явления в лабораторных условиях.

Поиск электрического дипольного момента (ЭДМ) нейтрона с использованием ультрахолодных нейтронов

Задача экспериментального поиска электрического дипольного момента (ЭДМ) является одной из самых важных в фундаментальной физике. Она имеет уже более чем 50-летнюю историю, причем последнее и значительное продвижение в этой проблеме связано с развитием методики ультрахолодных нейтронов (УХН). Важность задачи определяется тем, что она прямым образом связана с проблемой CP-нарушения. Дело в том, что элементарные частицы могут обладать электрическим дипольным моментом D только в случае нарушения пространственной (P) и временной (T) симметрий, т. е. симметрий к отображению пространства и времени.

До настоящего времени наиболее точным методом измерения ЭДМ является магниторезонансный метод Рамзея с использованием УХН, развиваемый в ПИЯФ

(Гатчина) и в ИЛЛ (Гренобль, Франция). Наибольшая точность ($D < 3,1 \times 10^{-26}$ е×см) достигнута международной коллаборацией в эксперименте ИЛЛ. Тем не менее, в настоящее время увеличение чувствительности ЭДМ экспериментов является особенно актуальным, так как позволяет произвести отбор теорий, объясняющих барионную асимметрию Вселенной. Экспериментальное обнаружение ЭДМ нейтрона было бы подтверждением суперсимметричных теорий с CP-нарушением.

С другой стороны, негативный результат в поисках ЭДМ нейтрона будет указывать на то, что шансы найти суперсимметричные частицы на суперколлайдере LHC в ЦЕРНе снижаются. В ПИЯФ создан мультикамерный ЭДМ спектрометр, который размещен в ИЛЛ. Последние измерения позволили получить значение $D < 5,5 \times 10^{-26}$ е×см и дальнейшее совершенствование эксперимента позволит повысить точность измерения ЭДМ нейтрона до 10^{-27} е×см. Кроме этого, в ПИЯФ разрабатывается совершенно новый дифракционный метод поиска ЭДМ нейтрона, основанный на том, что в совершенных кристаллах, в которых отсутствует центр симметрии, на нейтрон, движущийся в условиях, близких к брэгговским, действуют сильные внутрикристаллические электрические поля, достигающие величин 10^9 В/см, которые на 4 - 5 порядков превосходят поля, используемые в экспериментах с УХН. Эти поля были предсказаны, экспериментально обнаружены и исследованы в ПИЯФ. Первые тестовые эксперименты показали, что чувствительность предложенного нового метода может быть уже сейчас на уровне $(4 \times 6) \times 10^{-27}$ е×см при использовании имеющегося в наличии оборудования и кристаллов кварца на наиболее интенсивном в настоящий момент пучке холодных поляризованных нейтронов реактора ИЛЛ.

Определение времени жизни нейтрона

В 2004 г. российские ученые, используя материальную ловушку для хранения ультрахолодных нейтронов, созданную совместно в ПИЯФ и ОИЯИ, измерили время жизни нейтрона с рекордной точностью ($\tau_n = 878,5 \pm 0,7_{\text{стат.}} \pm 0,3_{\text{сист.}}$ с). Новый результат оказался очень важным как для физики элементарных частиц, так и для астрофизики и космологии. Во-первых, он устранил существовавшее противоречие экспериментальных данных со Стандартной моделью электрослабых взаимодействий (отклонение от условия унитарности, которое могло бы свидетельствовать, например, о числе поколений кварков и лептонов, отличном от трех). Во-вторых, он на 0,15% уменьшил предсказываемую распространенность гелия во Вселенной, тем самым, приблизив ее к величине, получаемой из наблюдений молодых галактик. В-третьих, новое время жизни нейтрона, использованное в модели Большого Взрыва, увеличило расчетную величину барионной асимметрии Вселенной на 15%.

В 2001–2004 гг. ученым ПИЯФ с коллегами из НИИ "Домен" и НИЭФА (Санкт-Петербург) впервые в мире удалось создать магнитную ловушку УХН из постоянных магнитов, при помощи которой начались новые измерения времени жизни нейтрона. В 2010 г. завершен первый этап эксперимента по измерению времени жизни нейтрона с использованием данной ловушки. Впервые для экспериментов, использующих магнитное хранение нейтронов, достигнута точность измерения 1,9 с, которая сравнима с точностью лучших экспериментов по измерению времени жизни нейтрона. Измеренное время жизни нейтрона в магнитной ловушке подтвердило предыдущий результат, оно совпадает с предсказанием Стандартной модели и составляет $878,2 \pm 1,9$ с.

Наряду с перечисленными выше исследованиями в ПИЯФ осуществляется большое количество других проектов, направленных на развитие фундаментальной ядерной физики.

- Эксперимент НЕЙТРИНО-4 по поиску осциллиций реакторных антинейтрино в стерильное состояние;
- Экспериментально определены ограничения на константу связи аксиона с веществом;
- Изучается природа и механизм формирования T-нечетной корреляции в тройном делении ядер поляризованными нейтронами;
- Центром ядерных данных ПИЯФ ведется оценка, анализ, систематика и поиск новых закономерностей в больших объемах ядерных данных. По существу на новом уровне продолжена традиция основателя школы ядерной спектроскопии в СССР Б.С.Джелепова, многие годы издававшего сборники, посвященные систематизации свойств атомных ядер.

В настоящее время в ПИЯФ идет подготовка к проведению исследований на высокопоточном исследовательском реакторе ПИК. По своим параметрам он не имеет себе равных. Реактор ПИК обеспечивает поток нейтронов 45×10^{14} н/см²/с (реактор ИЛЛ 12×10^{14} н/см²/с), количество исследовательских установок – 50 (в ИЛЛ - 40). В планах его использования — получение пучков холодных и ультрахолодных нейтронов, получение пучков поляризованных нейтронов для исследований в области фундаментальной ядерной физики и физики конденсированного состояния. На реакторе ПИК будут получать радионуклиды для нужд медицины, он станет международным центром коллективного пользования. Предполагаемая схема размещения оборудования показана ниже на рис. 1.7, 1.8.

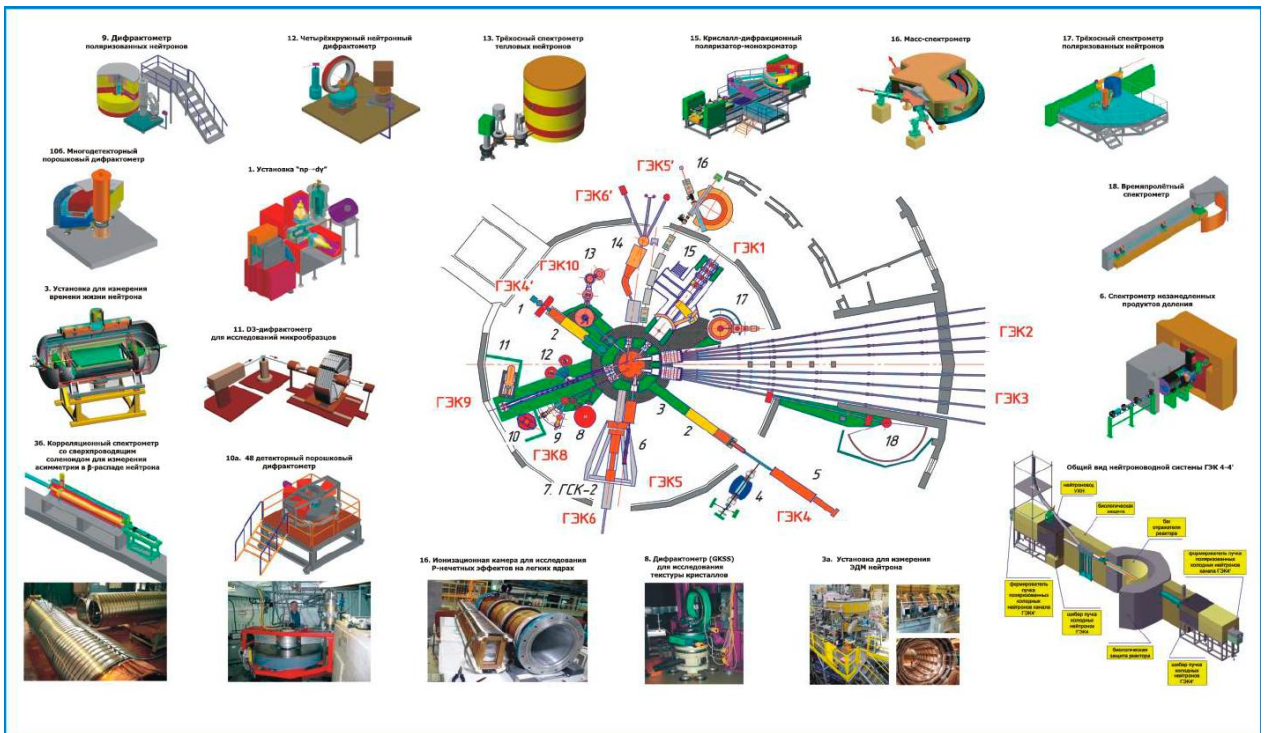


Рис. 1.7 План размещения экспериментального оборудования в зале горизонтальных каналов реактора ПИК

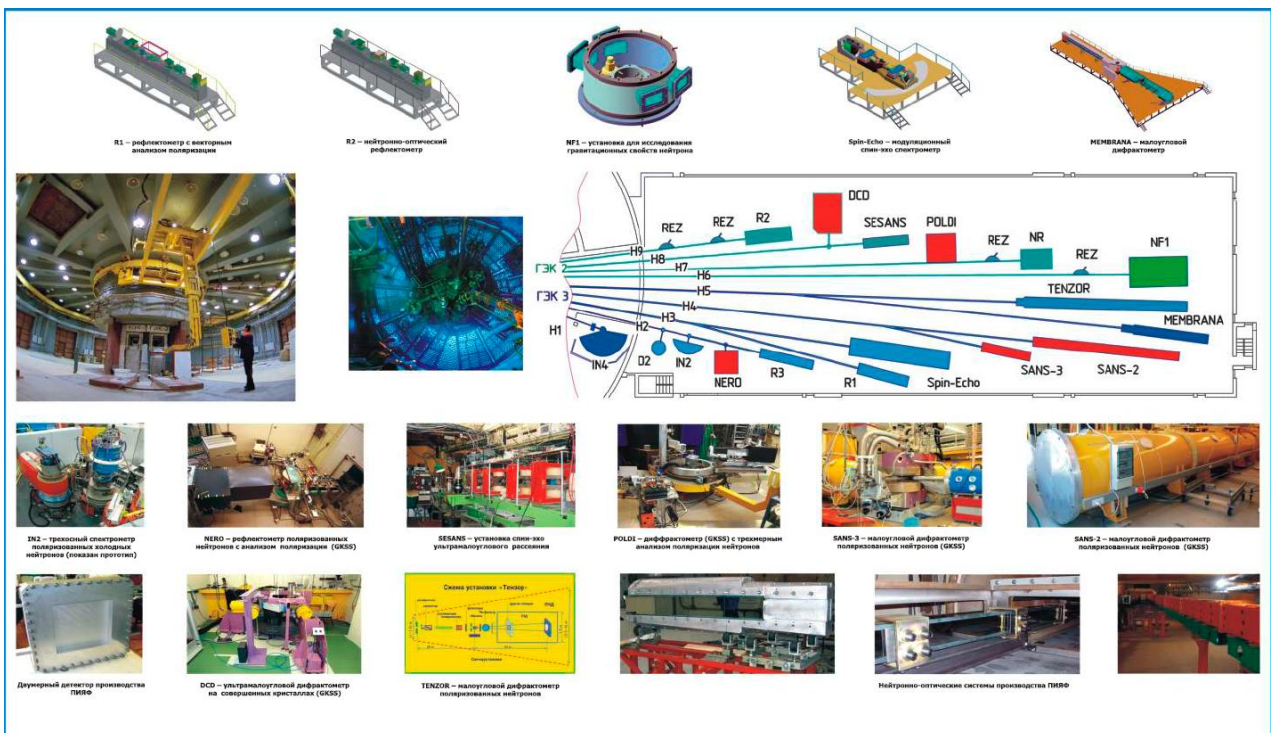


Рис. 1.8 – План размещения приборов в нейтронном зале реактора ПИК

Большой объем исследований в области ядерной физики низких и средних энергий проводится в Санкт-Петербургском государственном университете, на Кафедре ядерно-физических методов исследования:

Полуострова стабильности в ядрах с большим избытком нейтронов

Современные экспериментальные исследования, в частности, открытие таких ядер как ^{40}Mg ($Z=12$, $N=28$) и ^{42}Al ($Z=13$, $N=29$), показали, что границы линии стабильности по отношению к отделению одного или двух нейтронов в области нейтронно-избыточных ядер могут лежать дальше, чем предполагалось ранее. Была поставлена задача выйти за границы общепринятых значений Z и N и найти новые области ядерной стабильности. В этом направлении получены следующие результаты:

- Полуострова ядер, стабильных относительно испускания одного или двух нейтронов могут существовать за пределами ранее известной теоретически границы нейтронной стабильности.
- Числа нейтронов, соответствующее полуостровам стабильности, близки или совпадают с известными магическими числами.
- Восстановление стабильности при добавлении нейтронов и формирование полуостровов стабильности происходит при «модельно независимых» условиях.
- Изотопы с $N=32, 58, 82, 126, 184$, принадлежащие полуостровам стабильности, имеют сферическую форму.
- Механизм восстановления стабильности заключается в полном заполнении нейтронной подоболочки, лежащей в дискретном спектре и имеющей большой угловой момент.
- Структура границы стабильности сложна и отражает оболочечную структуру. Граница стабильности может простирается намного дальше, чем считалось ранее.
- Предсказывается существование нейтронного гало в ядрах с большим избытком нейтронов, принадлежащих к полуостровам стабильности.

Симметрия и хаос в ядерной физике

В настоящее время общепринятой является точка зрения, что хаос в квантовых системах означает квантовые явления, характерные для классических хаотических систем, т.е. квантовые отпечатки классического хаоса. Однако хорошо известно, что при переходе от квантовых систем к классическим происходит исчезновение целого ряда квантовых эффектов, обеднение квантовой картины, а вовсе не обогащение какими-то специфически

классическими эффектами. Естественнее искать квантовые критерии хаотичности, а затем следить, к каким классическим отпечаткам они потом могут приводить.

В развиваемом в СПбГУ и ПИЯФ подходе предлагается отказаться от критерия хаоса Ляпунова (траектории неустойчивы при малом возмущении), так как в квантовой механике нет понятия траектории. Вместо этого предлагается использовать понятие регулярности, которое связано с понятием симметрии. Хаотической следует считать ту систему, в которой число степеней свободы не больше числа её «хороших» квантовых чисел. В качестве меры квантовой хаотичности служит величина Γ_{spr}/\hbar , определяющая энергетический интервал состояний хаотической системы, внутри которого локализируются фрагментированные состояния регулярной системы с фиксированным значением главного квантового числа. Величина Γ_{spr}/\hbar в классическом пределе переходит в показатель Ляпунова Λ .

Поиск универсальных ядерных сил

К числу приоритетных направлений фундаментальных ядерно-физических исследований относятся поиск универсальных нуклон-нуклонных сил, действующих в ядерной среде, и круг астрофизических проблем, связанных с теорией происхождения и эволюции Вселенной. К этим проблемам относятся, в частности, вопрос о процессе образования ядер существующих в природе химических элементов (так называемая проблема нуклеосинтеза) и физика взрыва сверхновых. Обе эти проблемы не могут быть решены без привлечения методов теории атомного ядра, позволяющих описывать реакции с участием стабильных и нестабильных ядер при низких энергиях, представляющих интерес для астрофизики.

Решение задачи поиска универсальных ядерных сил необходимо для последовательного теоретического описания в едином подходе свойств основных и возбужденных состояний атомных ядер и всех ядерных процессов. Но оно особенно важно при описании реакций с участием нестабильных ядер, для которых экспериментальная информация мала или полностью отсутствует, и по этой причине феноменологические ядерные силы не могут быть использованы.

В задаче поиска универсальных ядерных сил существует два основных подхода, развиваемых в СПбГУ. В первом подходе делается попытка вывести ядерные силы, применимые для расчета свойств многонуклонных систем, из известных феноменологических сил, описывающих нуклон-нуклонное рассеяние, или, используя ряд приближений, из более фундаментальных кварк-глюонных взаимодействий. Вторым подходом основан на концепции эффективных ядерных сил. В основе этого подхода лежат

не сами силы, а энергетический функционал плотности, из которого эффективные силы выводятся в результате вариационной процедуры.

В 2011 г. был сделан важный шаг к построению единого вида ядерных сил, пригодных для описания свойств атомных ядер в широком диапазоне ядерных масс. Удалось описать как ширины, так и положение центров тяжести электрических гигантских дипольных резонансов в широком диапазоне ядерных масс. Этого удалось достичь благодаря использованию оригинального метода – квазичастичного приближения с временной блокировкой. Следует отметить, что предлагаемый метод является единственным, решающим проблему корректного описания гигантских дипольных резонансов в широком диапазоне масс.

В заключение остановимся на применении методов ядерной физики для решения не ядерно-физических задач.

*Применение методов теории ядра к описанию термодинамических свойств
нанокластеров*

В последние годы получило интенсивное развитие изучение высокотемпературных сверхпроводников. Помимо поиска макроскопических материалов, сохраняющих сверхпроводящие свойства при $T > 100$ К в литературе достаточно широко обсуждается возможность получения сверхпроводящего состояния при довольно высоких температурах с помощью нанокластеров, содержащих относительно небольшое число делокализованных электронов. В таких системах за счет нерегулярностей в структуре одноэлектронных уровней возможны их сгущения вблизи уровня Ферми (электронные кластерные оболочки как в сферических, так и в деформированных системах). Эти сгущения (концентрация плотности уровней) существенно повышает значения критической температуры (T_c), если ее определять для таких систем в соответствии со стандартным вариационным методом.

Однако в теории ядра разработаны методы более точного описания ядерной сверхтекучести, учитывающие конечность и фиксированность числа частиц в ядре, а также дискретность одночастичного спектра. Эти методы могут быть использованы при описании сверхпроводящих свойств нанокластеров. В контексте ядерной физики на основе этих методов уже давно было показано, что температурная область, где сохраняются парные корреляции, ответственные за ядерную сверхтекучесть или за электронную сверхпроводимость, оказывается расширенной, т.е. не обрывается при T_c , а продолжается заметным образом до двух – трех T_c .

Ядерная медицина

Как уже отмечалось выше, одним из наиболее быстро развивающихся прикладных направлений ядерной физики является ядерная медицина. Именно ядерная медицина потребляет половину всех производимых изотопов.

В её основе— использование радиоизотопных, реакторных или ускорительных методов для диагностики и лечения широкого круга заболеваний. Достоинствами ядерной медицины являются диагностика заболеваний на самой ранней стадии их развития и возможность доставки действующего агента непосредственно в область патологического процесса без повреждения окружающих тканей. В настоящее время в Санкт-Петербурге сосредоточены как научные исследования, так и производство сырьевых медицинских изотопов и радиофармпрепаратов (Петербургский институт ядерной физики им Б.П.Константинова НИЦ «Курчатовский институт», Радиевый институт им. В.Г.Хлопнна, Российский научный центр радиологии и хирургических технологий — РНЦРХТ, Институт мозга человека имени Н. П. Бехтерева РАН).

Начиная с 1975 года, в Петербургском институте ядерной физики (ПИЯФ) на базе синхроциклотрона на энергию протонов 1000 МэВ действует центр стереотаксической протонной терапии (ЦСПТ) заболеваний головного мозга, таких как различные виды аденом гипофиза и артериовенозных мальформаций сосудов головного мозга (см. видеофильм). Малое рассеяние протонов с энергией 1000 МэВ при их прохождении через облучаемый объект в сочетании с ротационной техникой облучения обеспечивает высокое отношение дозы в зоне облучения к дозе на поверхности. Данный метод облучения, являясь уникальным в мировой практике, отличается надежностью облучения и высокой лечебной эффективностью, однако область его применения ограничивается пока лечением ряда заболеваний головного мозга.

В настоящее время в ПИЯФ–РНЦРХТ, в дополнение к существующему ЦСПТ, осуществляется проект универсального центра протонной терапии с регулируемой энергией протонов в диапазоне 80- 240 МэВ. Этот центр должен в значительной степени обеспечить потребность Северо-Западного Региона России в лечении на самом современном уровне широкого спектра онкологических заболеваний. Центр создается на базе двух ускорителей: сильноточного изохронного циклотрона Ц-80 (энергия 80 МэВ, ток 100 мкА) и протонного синхротрона PS-240 с переменной энергией 120-240 МэВ. Циклотрон Ц-80 является инжектором протонов для протонного синхротрона PS-240. Кроме того, выведенные из циклотрона пучки протонов используются для лечения онкологических заболеваний глаз (прецизионный пучок протонов малой интенсивности с

энергией 80 МэВ) и для получения радиоизотопов (высокоинтенсивный пучок протонов с энергией 80 МэВ, ток 100 мкА).

Циклотрон Ц-80 обеспечит производство широкого круга изотопов для медицинских целей. Большое значение имеет производство генераторов на основе ^{82}Sr – ^{82}Rb , которые могут позволить использовать позитронно-эмиссионные томографы (ПЭТ) в лечебных центрах, где отсутствуют специализированные циклотроны для получения ПЭТ эмиттеров. В ПИЯФ существует также широкая программа получения реакторных радиоизотопов. Это направление становится особенно перспективным с пуском в ПИЯФ высокопоточного реактора ПИК. При этом планируется получение сверхчистых короткоживущих изотопов (без “горячей” химии). По возможности получения сверхчистых радионуклидов установка не будет иметь мировых аналогов.

К настоящему времени в регионе уже имеется определенный опыт получения и использования радиоизотопов в медицинской практике. В частности, на действующем в ПИЯФ реакторе ВВР-М производятся изотопы ^{99}Mo и ^{125}I , поставляемые в Радиевый институт для изготовления радиофармацевтических препаратов, а в РНЦРХТ производится изотоп ^{18}F для обеспечения действующего в этом центре ПЭТ.

Характерными особенностями исследований, проводимых петербургскими физиками-ядерщиками, являются тесная кооперация с иностранными исследователями, а также возрастание удельного веса прикладных исследований, а также проведение исследований на стыке нескольких наук. Следует отметить отсутствие мега-установок и устаревание технической базы. Можно надеяться, что ввод в эксплуатацию реактора ПИК даст импульс развитию исследований в Санкт-Петербурге. Представляется весьма печальным, что Санкт-Петербургский государственный университет остался без исследовательского циклотрона, что затормозило разработанную коллективом сотрудников бывшей циклотронной лаборатории программу по исследованию и наработке радионуклидов для перспективных радиофармпрепаратов.

1.5 Физика конденсированного состояния

Наиболее перспективными направлениями развития мировой фундаментальной науки в области физики конденсированных сред являются:

- Физика полупроводников,
- Физика наноструктур,
- Физика полимеров,
- Магнетизм и сверхпроводимость,
- Физика жидкостей.

В Санкт-Петербурге имеется научно-технический потенциал, позволяющий развивать все вышеперечисленные направления. Ниже приводятся возможности по развитию каждого из направлений.

Физика полупроводников

Санкт-Петербург является мировым лидером по созданию и исследованию физических свойств полупроводниковых гетероструктур - систем пониженной размерности, таких как сверхрешётки, квантовые ямы, проволоки и точки. В таких системах проявляются квантовые свойства материи, которые позволяют создавать приборы и устройства с совершенно особенными характеристиками. Актуальной областью, бурно развивающейся в последние несколько лет, является создание и исследование новых систем нанометрового масштаба:

- В СПбГУ получены гибридные халькогенид-кремниевые фотонно-кристаллические волокна. В них обнаружены резонансы в пропускании света в областях, где кремниевое пропускание очень мало. Возможны применения в интегрировании сложных устройств на основе стёкол в оптоволоконные сети.
- В ФТИ им. Иоффе и ООО «Софт-Импакт» исследованы возможности усиления светового излучения светодиодов. В деталях изучены светодиоды из нитридов элементов V группы (InAlGaN), покрывающие большую часть видимого и ультрафиолетового спектра и являющихся основным кандидатом в твердотельные источники освещения.
- В ФТИ им. Иоффе, СПбГУ и СПбГПУ исследована квантовая эффективность GaN светодиодов при температурах 77-300 К. Доказано, что их эффективность падает из-за туннельного ухода носителей тока из квантовой ямы и из-за уменьшения эффективности инжекции.

- В СПбГУ обнаружена и исследована спонтанная когерентность газа непрямых экситонов.
- В СПбГПУ определены времена жизни (порядка 100 наносекунд) и поглощение излучения среднего инфракрасного диапазона в напряжённых InAs/GaSb сверхрешётках, выращенных молекулярно-пучковой эпитаксией.
- В ФТИ им. Иоффе развита модель дефектов, объясняющая узкие спектральные линии связанных экситонов в ZnO.

Физические явления в углеродных материалах

- Сконструированы транзисторы на основе графена и исследованы их шумовые характеристики (ФТИ им. Иоффе).
- Получены и исследованы одностеночные углеродные нанотрубки, которые возможно разворачивать в листы графена (СПбГУ, ФТИ им. Иоффе).
- Предложены метаматериалы для терагерцовых источников излучения, базирующиеся на многослойных графеновых структурах (НИУ ИТМО и АУ НОЦНТ).
- Открыт динамический эффект Холла в графене, где электрический ток возникает под воздействием скрещенных электрического и магнитного полей излучения, поляризованного по кругу. Облучение монослоя графена терагерцовым излучением круговой поляризации при комнатной температуре приводит к генерации электрического тока, направление которого инвертируется при смене знака поляризации излучения (ФТИ им. Иоффе).
- Определены расстояния между углеродной нанотрубкой и кварцевой подложкой, при которых рассеяние на колебаниях подложки не уменьшают подвижность носителей тока в нанотрубке (ФТИ им. Иоффе).

Горячей областью в последние годы стало исследование «топологических изоляторов» - диэлектриков, имеющих поверхностные проводящие состояния. Эти системы изучаются в ФТИ им. Иоффе и ПИЯФ.

Магнетизм и сверхпроводимость

- Переключение спинов в антиферромагнетиках. Полностью оптическое переключение намагниченности коротким поляризованным лазерным импульсом, возможное применение – магнитные запись и считывание (ФТИ им. Иоффе).
- Создан магнитоплазменный кристалл – новый магнитооптический материал, состоящий из наноструктурированной плёнки благородного металла, помещённой

на ферромагнитный диэлектрик. Возможные применения – телекоммуникации и создание датчиков магнитного поля (ФТИ им. Иоффе).

- Открыт новый механизм инвертирования намагниченности в ферромагнетиках, обусловленный быстрым нагреванием среды из-за поглощения субпикосекундного лазерного импульса в отсутствие магнитных полей (ФТИ им. Иоффе).
- Продемонстрирована когерентная обратимая передача информации между твердотельным сверхпроводящим кубитом и ансамблем сверххолодных атомов. Кубиты могут использоваться в быстрых квантовых логических схемах, а атомы – в долговременном хранении и оптическом считывании квантовой информации (ФТИ им. Иоффе).
- Установлено, что графен на подложке из Ni или Co обладает малым спин-орбитальным расщеплением (СПБГУ).
- Исследованы материалы, состоящие из объёмных решёток электрических и магнитных диполей с резонансами значительно меньшими, чем первый брэгговский резонанс решётки. Предложен метод матрицы рассеяния, позволяющий определять параметры метаматериала (ИТМО).
- Обнаружена лево-ориентированная динамически неупорядоченная фаза в MnSi (ПИЯФ).
- Исследованы туннельные гетеропереходы ферромагнетик-ферроэлектрик и показано, что магнитоэлектрический интерфейсный эффект может быть использован в работе новых устройств памяти (ФТИ им. Иоффе).
- В мультиферроиках BiFeO_3 обнаружено значительное усиление оптического отклика по сравнению с другими оксидами железа, обусловленное переносом заряда по Bi-O связям (ФТИ им. Иоффе).
- Недавние экспериментальные результаты по релаксорным ферроэлектрикам описываются с помощью перехода в состояние «случайного поля», в котором образуются статические наноразмерные домены, но нет дальнедействующего периодического порядка (ФТИ им. Иоффе).
- Объяснены механизмы микроволновой фотопроводимости и магнитосопротивления в двумерных электронных системах и выявлена ключевая роль короткодействующего беспорядка (ФТИ им. Иоффе, ПИЯФ).
- Предложен метод визуализации пространственно-меняющихся магнитных полей, использующий тонкий слой с центрами азотных вакансий на поверхности

алмазного чипа. Возможны применения в визуализации биологических объектов и активности нейронных сетей в реальном времени (ФТИ им. Иоффе).

- Исследованы магнитные свойства наночастиц, состоящих из антиферромагнитного ядра MnO и ферромагнитной оболочки. Обнаружено значительное увеличение температуры Нееля и магнитной анизотропии с уменьшением размера оболочки. (ПИЯФ)
- Показано, что кубические магнетики $Fe_{1-x}Co_xSi$ могут быть сделаны как право- так и левовращающими в зависимости от содержания кобальта (ПИЯФ).
- Построена теория фундаментальных сильно коррелированных систем тяжёлых фермионов. Показано, что их основные свойства и скэйлинговое поведение описывается квантовым фазовым переходом с конденсацией. Этот подход объясняет отличие таких систем от обычных фермиевских (ПИЯФ, ФТИ им. Иоффе)
- Обнаружено возникновение вакансий кислорода и цинка в кристаллах ZnO . Концентрация дефектов в их парамагнитных зарядовых состояниях определена с помощью электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и оптически-детектируемого магнитного резонанса (ФТИ им. Иоффе).
- Исследован новый тип оптических наноантенн, сделанных из диэлектрических частиц с высокой проницаемостью и низкими потерями. Высокая эффективность наноантенн обусловлена сильным магнитным резонансом. Полностью диэлектрические наноантенны обладают преимуществами по сравнению с плазмонными в эффективности излучения и компактности дизайна (ИТМО).
- Исследованы поверхностные (таммовские) волны в магнитофотонных структурах. Показано, что имеется различие частот у поверхностных волн, распространяющихся в противоположных направлениях, вызванная намагниченностью (ФТИ им. Иоффе).

Физика наноструктур и наноматериалов

- Зарегистрировано мощное излучение из нанокристаллов, выращенных из наиболее используемого электронного материала – кремния, который до последнего времени не удавалось применять в оптике (ФТИ им. Иоффе).
- Построена общая модель скорости роста нанопроволок. Описаны механизмы их роста и главные эпитаксиальные технологии. Определены термодинамические и кинетические факторы, контролирующие морфологические свойства, состав и кристаллическую структуру нанопроволок. Представлены данные по физическим

свойствам проволочных нанокристаллов и по возможности их использования в нанофотонике, наноэлектронике и нанобиотехнологиях (АУ НОЦНТ и ФТИ им. Иоффе).

- Определён механизм безызлучательной рекомбинации в полупроводниковых коллоидных CdSe/CdS нанокристаллах. При помощи подавления Оже-рекомбинации удалось добиться 100% квантового выхода. Возможны применения таких нанокристаллов в качестве биомаркеров и светоизлучающих оптоэлектронных устройств (ФТИ им. Иоффе).
- Получены и исследованы свойства нанокристаллов целлюлозы (ИВС).
- Обнаружена сильная оптическая нелокальность в слоистых металл-диэлектрических наноструктурах, которая приводит к существованию дополнительных электромагнитных волн, что проявляется в раздвоении поляризованных световых пучков на границе воздуха с наноструктурой (ИТМО).
- Оптимизированы зернистость границ и диффузионные процессы для усиления прочности наноматериалов. Предложен новый физический механизм или режим пластической деформации в металл-керамических нанокристаллитах. Теоретически установлено, что новый режим повышает пластичность нанокристаллических сред в широких диапазонах их структурных параметров. Описано влияние межзеренных границ на рост трещин в нанокристаллитах (ИПМаш).

Физика полимеров

- Созданы наноструктуры из полианилина, в том числе одномерные системы – нанотрубки, а также определены наиболее благоприятные условия их выращивания (ИВС).
- Созданы однородные многокамерные мицеллы с беспрецедентным структурным контролем (ИВС).

Активно исследуется *физика спиновых явлений*, в которой учёные Санкт-Петербурга имеют приоритет. Последние результаты перечислены ниже:

- Зарегистрированы длинные времена жизни спина (> 60 сек.) в парах щелочных металлов (ГОИ им. Вавилова).
- Исследованы физические процессы в двумерных электронных системах со случайным спин-орбитальным взаимодействием (ФТИ им. Иоффе).

В заключение отметим, что во всех упомянутых научных и учебных заведениях Санкт-Петербурга имеется достаточная квалификация кадров и материальная база по наиболее перспективным направлениям развития мировой науки в области физики конденсированных сред.

1.6. Оптика и лазерная физика

Практически ни одна отрасль гражданской промышленности и социальной сферы не обходится без изделий оптики и лазерной техники, которые в совокупности в последние годы стало принято называть «фотоникой». Приборы и системы фотоники являются также важнейшими элементами военной и специальной техники. Специфика оптики и лазерной физики (системный характер работ, заключающийся в создании образцов, систем и комплексов, специальных материалов и оптической компонентной базы, науко- и капиталоемкость, большая номенклатура производимой продукции; высокий уровень производственно-технологической кооперации, широкий спектр применяемых технологий и материалов и ряд других) требует обеспечения комплексного подхода к решению проблем, сдерживающих развитие этих стратегически важных направлений.

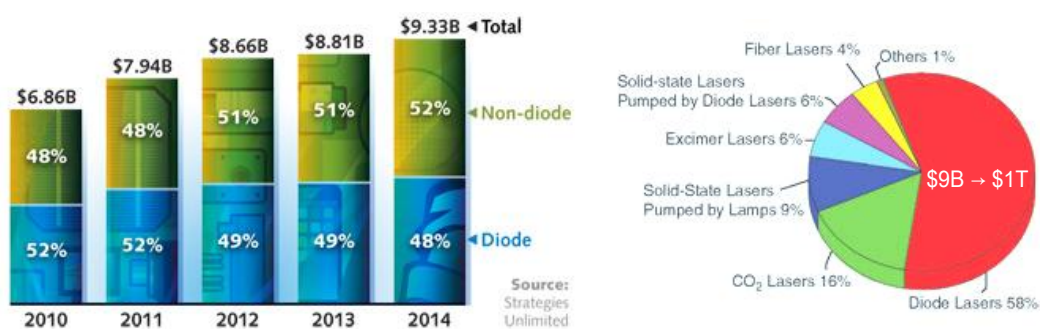


Рис. 1.9 – Рост рынка лазерной техники по годам и распределение доли рынка по типам лазеров

Мировой рынок оптики и лазерных технологий развивается высокими темпами, рис. 1.9, отвечая требованиям гражданских отраслей промышленности, и в особенности отраслей промышленности специальных применений. По данным Markets and Markets, опубликованным в сентябре этого года, общий объем рынка лазерной техники составит более 9 миллиардов долларов в текущем 2014 году и вырастет до уровня 17 миллиардов долларов к 2020 году. При этом мировой рынок систем на основе лазеров оценивается в триллион долларов. Фотоника из источника нишевых технологий развилась до уровня источника определяющих (enabling) технологий для многих рынков и стала драйвером развития промышленности во многих областях техники. В 2011 году мировой рынок фотоники оценивался в 350 миллиардов евро, что говорит о росте в 6.5% в год по сравнению с уровнем 2005 года (рис. 1.10), несмотря на неблагоприятные экономические предпосылки, связанные с кризисом 2008 года. Ожидается, что к 2020 году мировой рынок фотоники составит более 600 миллиардов евро.

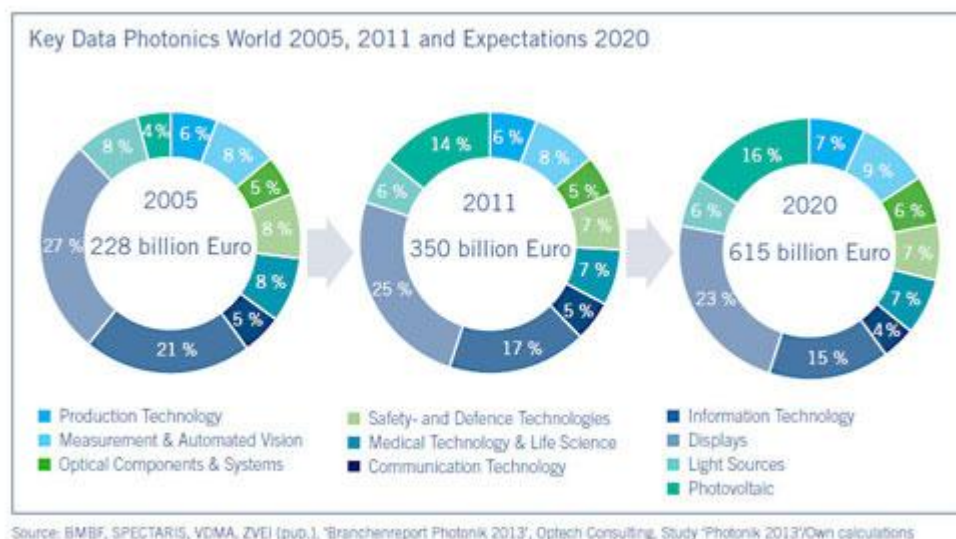


Рис. 1.10 – Рост рынка фотоники по годам (Optech Consulting) и распределение долей рынка по типам применений

Доля России в этом рынке мала и не превышает 1.5-2%. В то же время, по исторически объективно сложившимся обстоятельствам, потенциальный уровень российских научно-технологических разработок в области лазерных технологий и оптики находится на мировом уровне, и в некоторых случаях претендует на лидирующие позиции. В силу перечисленных ниже причин отставания и недостаточной инновационной активности российских компаний продукция оптической и оптоэлектронной промышленности остается на низком уровне развития научно-технических разработок, что проявляется в неуклонном сокращении количества отечественных научных коллективов, сохраняющих мировой уровень научных исследований. Имеющиеся научные разработки редко востребованы отечественными предприятиями, занимающими низкобюджетную часть рынка. Среди основных причин отставания следует отметить:

- резкое снижение степени координации, планирования и постановки задач для создания конечных образцов гражданского и специального назначения;
- сокращение потенциала и объема финансирования научно-технических исследований в области оптики и лазерной техники;
- катастрофическое сокращение производства современного технологического и метрологического оборудования, грозящее привести к утрате возможности восстановления исследовательской и производственной баз;
- утрата производственной базы исходных полупроводниковых подложечных материалов и чистых материалов, необходимых для технологического производства компонентов оптоэлектронной техники, в частности: подложки

арсенида галлия фосфида индия и чистые исходные материалы для МОС-гидридной и молекулярно пучковой эпитаксии.

Целью настоящего отчета является оценка состояния оптики и лазерной физики в Санкт-Петербурге, а также описание наиболее перспективных тем исследований и ведущих их научных групп. В отчете будет дана оценка наиболее актуальных направлений развития мировой науки в области оптики и лазерной физики и возможностей участия петербургской науки в наиболее прорывных исследованиях для выделения наиболее перспективных направлений поддержки со стороны СПбНЦ. В первой части отчета анализируется публикационная активность петербургских авторов в области оптики и лазерной физики. Во второй части проводится оценка наиболее развитых в Санкт-Петербурге направлений исследований в данной области, а в третьей части дан краткий перечень наиболее перспективных, по мнению автора, направлений фотоники, которые ожидает бурный рост в ближайшие 5-10 лет.

*Анализ публикационной активности петербургских авторов
в области оптики и лазерной физики*

Публикационная активность петербургских авторов в области оптики и лазерной физики анализировалась по данным базы Web of Knowledge, рис. 1.11. По поисковому запросу было найдено чуть более 8100 статей с совокупной цитируемостью почти 57000 (47600 с исключением самоцитирования), что соответствует средней цитируемости около 7. С учетом сравнительно низкой цитируемости в оптике по сравнению с другими естественнонаучными областями, это является свидетельством широкого мирового признания петербургской оптики и лазерной физики.

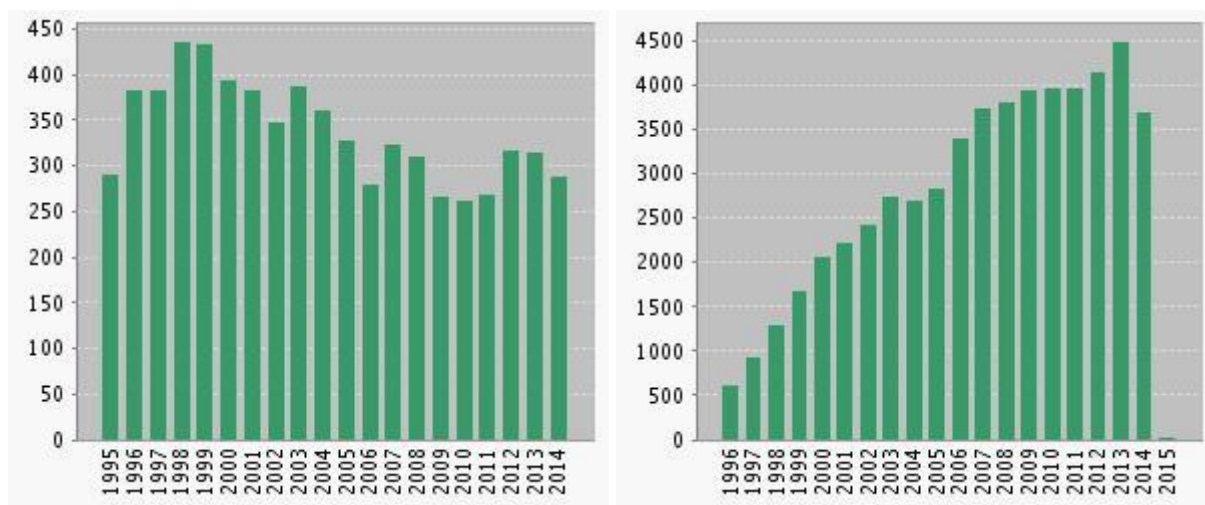


Рис. 1.11 – Количество статей петербургских авторов в области оптики и лазерной физики в базе данных Web of Knowledge и их совокупная цитируемость по годам

Тем не менее, следует отметить, что высокая цитируемость (рис. 1.12), равно как и пик публикационной активности в данной области на рубеже веков (рис. 1.13), во многом определялись и определяются исследованиями в области квантоворазмерных гетероструктур, проводимых в Санкт-Петербурге, в первую очередь, научной школой, созданной Ж.И.Алферовым и его коллегами. Как видно из рис. 12, примерно половина ссылок на работы петербургских ученых по оптике и лазерной физике приходится на работы, посвященные исследованию квантовых точек. В базе Web of Knowledge было найдено почти 1700 статей с совокупной цитируемостью более 28300 (23200 без самоцитирования), что соответствует средней цитируемости около 17 и заметно опережает средний мировой уровень цитируемости.

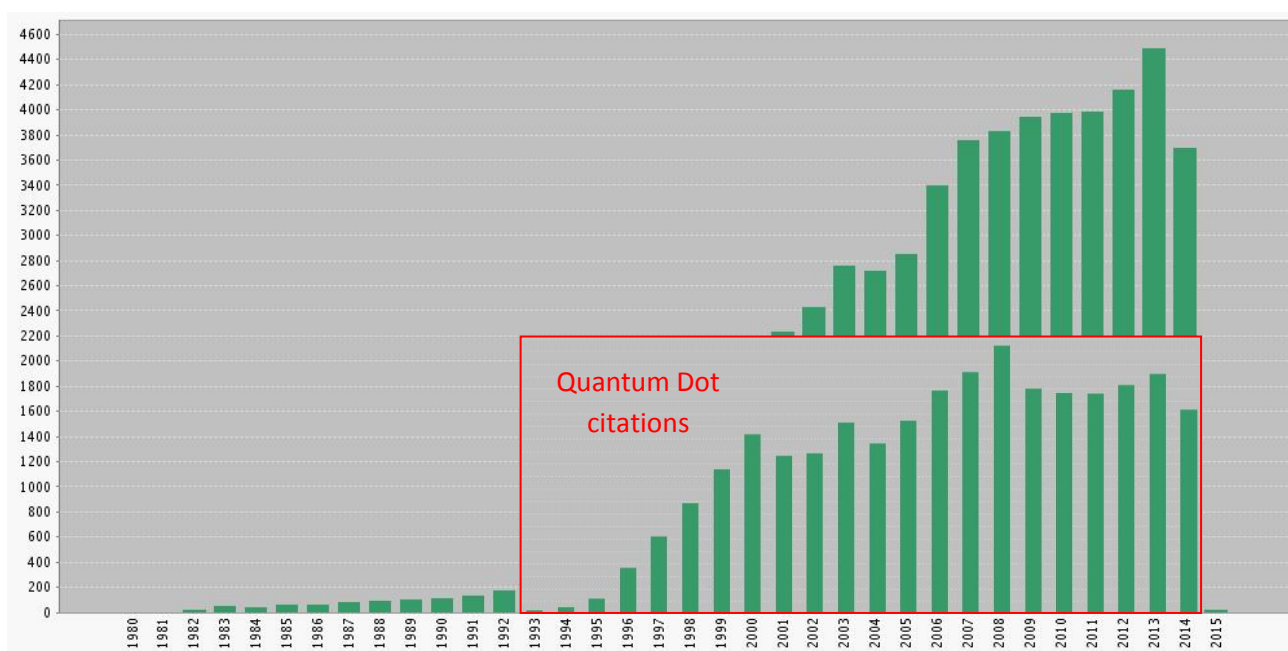


Рис. 1.12 – Совокупная цитируемость статей петербургских авторов в базе данных Web of Knowledge по годам. На вставке показана совокупная цитируемость статей, посвященных исследованию квантовых точек

Из рис. 1.13 видно также, что публикационная активность петербургских авторов в области оптики и лазерной физики в тематиках, не связанных с исследованиями квантоворазмерных гетероструктур, в последнее время испытывает приблизительно 30% спад по сравнению с пиковым уровнем рубежа веков (с ~300 до ~200 публикаций в год). В то же время, хорошо заметное на рис. 12 замедление цитируемости *всех* публикаций петербургских авторов в области оптики и лазерной физики говорит об исчерпании потенциала роста, заложенного пионерскими работами Ж.И.Алферова и его коллег по

исследованию квантовых точек, и необходимости скорейшего определения и целевого развития наиболее перспективных направлений фотоники в нашем городе.

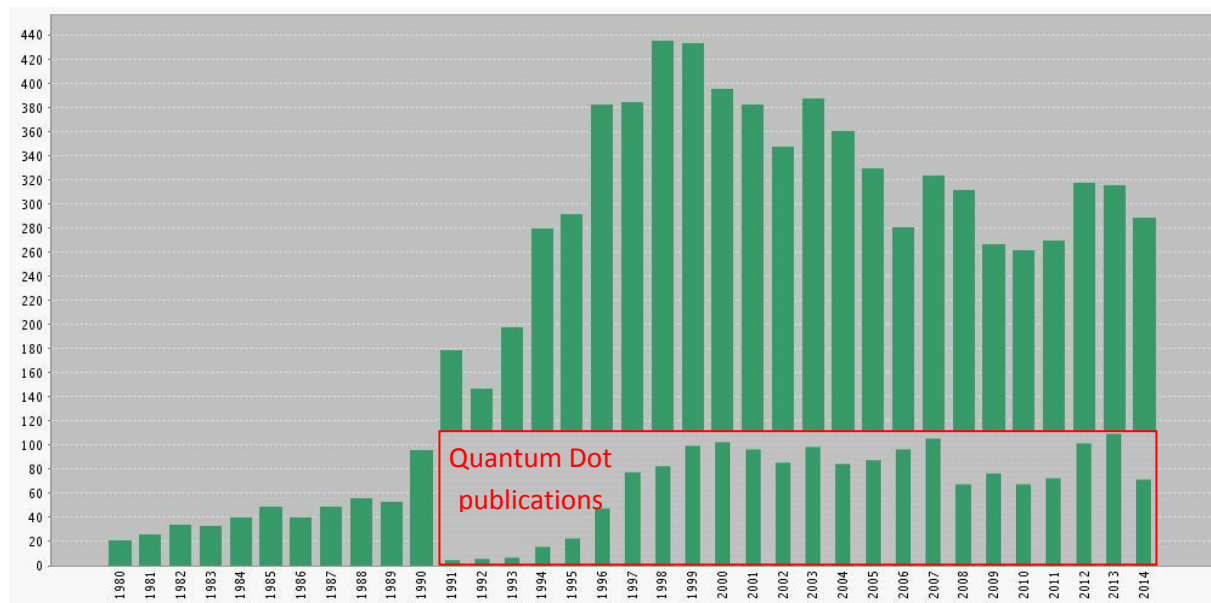


Рис. 1.13 – Количество статей петербургских авторов в базе данных Web of Knowledge по годам. На вставке показано количество статей, посвященных исследованию квантовых точек

Большая часть петербургских публикаций в области оптики и лазерной физики выходят в свет благодаря исследованиям, выполненным в ФТИ им.А.Ф.Иоффе. По данным Web of Knowledge, совокупная цитируемость работ, опубликованных физтеховцами, составляет более 28600 (около 23800 без самоцитирования), т.е. большую половину всех цитирований петербургских авторов. Это говорит о явном доминировании Физтеха в области оптики и лазерной физики в Санкт-Петербурге, что не может не отразиться на приведенном ниже перечне развитых в нашем городе направлений исследований.

*Наиболее развитые в Санкт-Петербурге направления исследований
в области оптики и лазерной физики*

В данном разделе проводится оценка наиболее развитых в Санкт-Петербурге направлений исследований в области оптики и лазерной физики. Приведенный ниже список не является исчерпывающим, нумерация разделов не является свидетельством большей или меньшей важности какого-либо из направлений.

1) *Мощные полупроводниковые лазеры и лазерные линейки ближнего ИК диапазона.* Разработка и исследование лазерных диодов на базе квантовых ям с классической конструкцией резонатора Фабри-Перо, излучающих в диапазоне 700-2000

ним и предназначенных для широкого спектра применений, в т.ч. для оптической накачки, медицинских приборов и систем специального назначения ведется в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Это направление в России имеет высокий научно-исследовательский задел и потенциал, в целом соответствующий мировому уровню. Чрезвычайно серьезной проблемой является отсутствие современной технологии пост-ростовой обработки полупроводниковых гетероструктур в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Решение этой проблемы требует огромных капиталовложений и, очевидно, не может быть достигнуто усилиями одной лаборатории.

2) *Поверхностно-излучающие лазеры с вертикальным резонатором.* Созданием и исследованием лазеров VCSEL (vertical-cavity surface-emitting lasers) занимаются в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В отличие от технологии торцевых полупроводниковых лазеров, технология VCSEL является планарной, что при масштабировании производства гарантирует уменьшение себестоимости до уровня, приемлемого для решения задачи «последней мили» в волоконно-оптических линиях связи (совместно с пластиковыми оптическими волокнами), а также для применения таких лазеров в оптических межсоединениях в суперкомпьютерах.

Продемонстрированные физтеховцами частоты модуляции VCSEL превышают 20 ГГц, что соответствует мировому уровню и достаточно для подавляющего большинства практических применений. Другим направлением развития этих исследований является объединение VCSEL в матрицы индивидуально-адресуемых излучателей, что актуально в т.ч. и для специальных применений (в частности, для управления комплексами АФАР).

3) *Полупроводниковые лазеры на основе квантовых точек в системе твердых растворов A^3B^5 .* Лазерные диоды на базе нульмерных наногетероструктур, излучающие в диапазоне 1-1.3 мкм и до 1.5 мкм и предназначенные для применений в метрологии, медицинских приборах и системах связи, создаются и исследуются в Академическом Университете и в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Как отмечалось выше, это направление в России имеет высокий научно-исследовательский задел и потенциал, превышающий мировой уровень в области технологии наногетероструктур. Промышленное производство таких лазеров в России практически отсутствует. По-видимому, единственным исключением может стать компания Коннектор Оптикс, научно-техническим директором которой с этого года является известнейший специалист по молекулярно-лучевой эпитаксии соединений A^3B^5 .

4) *Полупроводниковые лазеры видимого диапазона на основе соединений A^2B^6 .* Полупроводниковые лазеры на базе наногетероструктур в системе твердых растворов A^2B^6 , излучающие в видимом диапазоне длин волн и предназначенные для создания

систем проекционного телевидения, навигации и локации (в т.ч. для подводного применения) создаются и исследуются в ФТИ им.А.Ф.Иоффе. Всплеск интереса в мире к таким источникам связан возможностью создания лазерных RGB проекторов, в т.ч. интегрированных со смартфонами, цифровыми камерами и ноутбуками. Это направление в России имеет большой научно-исследовательский задел и высокий потенциал, но несколько отстающий от мирового уровня в части создания приборов с электрической накачкой (создаваемые в Физтехе приборы имеют УФ или электронную накачку).

5) *Солнечная энергетика.* Разработка и исследование кремниевых и концентраторных солнечных элементов на основе гетероструктур A^3B^5 ведутся в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Оба направления исследований имеют широкое международное признание, ведутся в тесном сотрудничестве с западными коллегами, широко публикуются и имеют широкий спектр источников финансирования (оба направления исследований получили финансовую поддержку Роснано).

6) *Мощные светодиоды на основе соединений A^3N .* Несмотря на бурный прогресс в развитии физики и технологии получения источников белого света на основе полупроводниковых гетероструктур AlInGaN и экспоненциальный рост производства мощных светодиодов, в т.ч. в Санкт-Петербурге (в частности, компании Светлана-Рост и Оптоган), некоторые основополагающие физические аспекты работы таких источников остаются невыясненными. К таким аспектам относится нетепловое уменьшение эффективности излучения светодиодов при инжекционной накачке при высоких плотностях тока. В настоящее время существует несколько физических гипотез, объясняющих данный эффект: Оже-рекомбинация в активной области на основе InGaN квантовых ям, утечки тока, проблемы инжекции дырок, фазовая сепарация в напряжённых InGaN квантовых ямах, однако окончательной ясности в данном вопросе нет. Изучением этих вопросов, а также развитием технологии создания AlInGaN гетероструктур занимаются в ФТИ им.А.Ф.Иоффе. Теоретические исследования ведутся компанией Софт-Импакт, а изучение вопросов создания интеллектуальных (smart) источников белого света ведется в НТЦ Микроэлектроники. Роль компании Нитридные кристаллы в исследовании нитридов третьей группы является неоднозначной.

7) *Светодиоды, лазеры и фотоприемники в средней ИК области спектра 1.6-5 мкм.* Полупроводниковые фотоприемники, а также светодиоды и лазеры на базе сурьмянистых наногетероструктур, излучающие в диапазоне 1.6-5 мкм и предназначенные для широкого спектра применений, в т.ч. экологического мониторинга и спектроскопии газов (метана, двуокиси углерода, окиси углерода и др.), создаются и исследуются в ФТИ

им.А.Ф.Иоффе. Это направление имеет существенный научно-исследовательский задел и потенциал, в целом соответствующий мировому уровню.

8) Генерация сверхкоротких импульсов при помощи полупроводниковых лазеров. Основной акцент в этом направлении исследований в последние годы заметно сместился с обеспечения передачи данных в волоконно-оптических линиях связи в сторону перспективных направлений в области обработки материалов и биомедицинских применений, включая генерацию белков теплового шока и лазерные адъюванты вакцин. Пионерские работы в области синхронизации мод полупроводниковых лазеров принадлежат сотрудникам ФТИ им.А.Ф.Иоффе, еще в 1994 году продемонстрировавшим генерацию 650 фс импульсов с частотой повторения 110 ГГц (уровень, который западным коллегам удалось достичь и превзойти только более чем через 10 лет). В настоящее время в ФТИ и в СПбНИУ ИТМО большое внимание уделяется изучению эффектов, возникающих при прямой токовой модуляции полупроводниковых лазеров на уровне десятков и даже сотен пороговых значений при высокой скважности, исключающей проявление температурных эффектов.

9) *Коллоидные квантовые точки.* В последние годы исследования в данном направлении испытывают взрывное развитие, которое в самое ближайшее время может привести к драматическим изменениям в области производства светоизлучающих приборов и в солнечной энергетике. К сожалению, это направление в нашем городе до сих пор не имеет достаточно высокого научно-исследовательского задела и его потенциал не соответствует мировому уровню. В настоящее время коллоидными квантовыми точками в Санкт-Петербурге активно занимаются лишь в СПбГЭТУ (ЛЭТИ).

10) *Твердотельные и газовые лазеры.* В Санкт-Петербурге это направление развивается в НИИ Лазерной физики СПбНИУ ИТМО и ГОИ им. С.И. Вавилова и включает в себя: твердотельные лазеры с полупроводниковой накачкой и системами управления и коррекции лазерных пучков большой энергии (мощности) для информационных систем и прецизионных технологических применений; газовые лазеры с оптической, в т.ч. солнечной, накачкой, предназначенные для обработки материалов и утилизации солнечной энергии; лазеры безопасного для глаз диапазона с диодной накачкой; новое поколение лазеров на основе параметрической генерации света для прецизионной хирургии; лидары на основе малогабаритных твердотельных лазеров с диодной накачкой и генерацией гармоник.

*Краткий перечень направлений фотоники,
перспективных для развития в Санкт-Петербурге*

А. Квантовые каскадные лазеры. Полупроводниковые лазеры на основе квантовых каскадных наногетероструктур, излучающие в диапазонах длин волн, соответствующих окнам прозрачности в атмосфере (3-5 мкм и 8-13 мкм) и совпадающих с собственными частотами поглощения многих молекул, предназначены для систем высокоскоростной беспроводной связи в атмосфере, локации, мониторинга окружающей среды, медицинской диагностики и систем специального назначения. Это направление в России имеет достаточно высокий научно-исследовательский задел (достаточно отметить, что ККЛ были предложены Р.Ф.Казариновым и Р.А.Сурисом в начале 1970х), но техническая реализация ККЛ в России, несмотря на участие отечественных ученых в работах западных коллег и заметную активность петербургских ученых, до сих пор остается делом отдаленного будущего, в первую очередь, из-за отсутствия достаточного целевого финансирования.

Б. Компактные полупроводниковые излучатели терагерцового диапазона. Терагерцовое излучение уже много лет привлекает внимание исследователей благодаря его способности проникать через большинство диэлектрических материалов, что в определенной степени напоминает свойства рентгеновского излучения. В отличие от рентгена, оно безвредно для человека, что открывает широчайшие возможности для его применения в медицинской диагностике, системах безопасности, экологического мониторинга и контроля качества, а также во многих других областях науки и техники.

Это излучение занимает промежуточное положение в электромагнитном спектре между инфракрасным (ИК) и микроволновым диапазонами, поэтому его иногда также называют дальним ИК или субмиллиметровым. Однако до настоящего времени ТГц диапазон остается малоизученным по сравнению с соседними – инфракрасным и микроволновым из-за отсутствия компактных и эффективных источников излучения. Лазеры ИК диапазона и источники микроволнового излучения плохо подходят для генерации излучения в промежуточном ТГц диапазоне из-за теплового размытия лазерных уровней и из-за конечного времени пролета электронов. Наиболее перспективными направлениями генерации ТГц излучения в настоящее время считается внутривибраторная генерация разностной частоты в двухчастотных ККЛ и VECSEL. В ФТИ им.А.Ф.Иоффе и в СПбГПУ в последние годы развиваются различные методы генерации ТГц излучения, представляющиеся менее эффективными с точки зрения создания компактных источников, но не менее интересные с научной точки зрения,

поэтому концентрация усилий в этом направлении может привести к быстрому продвижению вперед.

В. Лазерное освещение. Данный подход к созданию ультра-эффективных источников белого света находится на самом начальном этапе развития, но является весьма актуальным из-за нетеплового уменьшения эффективности излучения светодиодов при инжекционной накачке при высоких плотностях тока. Причины, обуславливающие данный эффект, носят фундаментальный характер и только отчасти могут быть преодолены, например, использованием оптимизированного дизайна активной области светодиодной гетероструктуры или кристалла светодиода. Поэтому весьма перспективным является подход, основанный на использовании лазерных диодов для получения белого света.

В последние годы, развитие технологии позволило продемонстрировать образцы полупроводниковых лазеров с КПД при высоких плотностях тока, сравнимым с или даже превышающим КПД, демонстрируемый светодиодами при относительно низких плотностях тока. Это делает принципиально возможным создание нового класса источников белого света, основанного на использовании лазерного излучения.

Г. Создание метаматериалов, фотонных кристаллов и топологических изоляторов для управления потоками электромагнитного излучения. Синтез и исследования фотонных кристаллов (ФК), метаматериалов (ММ) и топологических изоляторов (ТИ) в последнее время находятся в центре внимания исследователей. Основной интерес к этим материалам связан с уникальными возможностями управления световыми потоками в различных спектральных диапазонах – от микроволн до ультрафиолета.

ФК – это искусственные композитные структуры, состоящие из элементов с размерами порядка рабочей длины волны. ФК уже широко применяются на практике – достаточно назвать фотонно-кристаллические световоды, зеркала и резонаторы. Именно ФК будут служить основой для создания элементной базы нового поколения для оптических средств передачи, обработки и хранения информации, отличающихся высоким (субпикосекундным) быстродействием, долговременной стабильностью характеристик, малым энергопотреблением, повышенной механической устойчивостью.

ММ – это искусственные композитные структуры, состоящие из элементов с размерами меньше рабочей длины волны, однако обладающих резонансными свойствами на этой длине волны. ММ обладают отрицательными значениями диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости, что определяет уникальные возможности управления световыми потоками в различных спектральных диапазонах. В настоящее

время ММ еще не используются на практике так же широко, как ФК, однако имеют огромный потенциал. В Санкт-Петербурге исследования в данном направлении ведутся в ФТИ им.А.Ф.Иоффе и в СПбНИУ ИТМО.

Д. Сверхфокусировка излучения мощных полупроводниковых лазеров. В отличие от сверхфокусировки лазерного излучения за счет, например, применения метаматериалов, при фокусировке многомодового излучения мощных полупроводниковых лазеров, низкое пространственное совершенство луча с высоким параметром распространения M^2 определяет теоретический предел размера фокусного пятна, на один-два порядка превышающий дифракционный предел, что существенно ограничивает как повышение плотности мощности при фокусировке, так и создание градиента оптического поля, необходимого для многих практических применений. Решение этой проблемы, в т.ч. за счет искусственного снижения параметра M^2 и/или разработки специфических методик формирования луча, позволит снять непреодолимые до настоящего времени ограничения на развитие т.н. «прямых» применений полупроводниковых лазеров и будет иметь огромное экономическое значение. Определенный задел в данном направлении имеется в ФТИ им.А.Ф.Иоффе, где недавно была продемонстрирована сверхфокусировка излучения полупроводникового лазера с $M^2=18$ и использование сверхфокусированного излучения для оптического захвата и манипулирования микроскопическими (в т.ч. биологическими) объектами.

1.7 Геофизика и радиофизика

Наша планета Земля – большой магнит. По современным представлениям главное магнитное поле земли (МПЗ) генерируется вследствие конвекции крупномасштабных вихревых образований, магнитогидродинамических и динамо процессов в переходном слое между мантией и внутренним ядром Земли, кроме того имеется дополнительная составляющая от намагниченности пород в земной коре. По магнитным наблюдениям в настоящее время дипольный магнитный момент Земли составляет $M=8 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$. За последние 400 лет он уменьшился на 20%. Направление магнитного момента также испытывает заметные изменения. В соответствии с палеомагнитными исследованиями инверсии МПЗ происходят нерегулярно в пределах 400÷800 тыс. лет. В современный исторический период наша планета находится вблизи границы изменения полярности МПЗ. Однако предполагается, что процесс инверсии продлится около 10 тыс. лет. Последняя инверсия произошла примерно 500-800 тыс. лет назад. Во время инверсии МПЗ происходят интенсивные атмосферные процессы (циклоны и др.) и активные тектонические процессы (землетрясения, взрывы вулканов, цунами). В то же время по палеомагнитным данным за период 450 лет отмечена связь между изменениями магнитного поля Земли и климата. На фоне медленного тренда уменьшения M , величина МПЗ при любом направлении полярности испытывает незначительные вековые изменения с амплитудой 0,03% в пределах от 1 года до 600 лет.

В то же время Земля, являясь одной из планет солнечной системы, вращается вокруг оси и движется по орбите в ионизированной среде солнечного ветра. Наличие МПЗ является одной из основных причин образования магнитосферы Земли с радиационными поясами, ионосферой и атмосферой, а последняя представляет среду обитания живых организмов и человека.

В связи со спорадическими и регулярными активными процессами на Солнце и взаимодействия магнитосферы с возмущенным солнечным ветром на поверхности Земли мы наблюдаем значительные вариации магнитного поля (магнитные бури, суббури, сезонные и суточные изменения), амплитуда которых достигает 5% от величины МПЗ с продолжительностью этих изменений от 1 часа до нескольких суток. Во время магнитных бурь и суббурь в магнитосфере и ионосфере – естественной плазменной лаборатории – возникают различного рода плазменные неустойчивости, волновые и резонансные процессы, ускорения и высыпания энергичных частиц вдоль силовых линий в ионосферу, где образуются ионосферные токовые системы, ответственные за геомагнитные возмущения и соответствующие индукционные процессы в проводящей земной коре. Все

эти физические процессы в совокупности с потоками высокоэнергичных космических лучей влияют на электронные системы спутников, космонавтов, на навигационные спутниковые системы, процессы распространения радиоволн, создают радиопомехи, выводят из строя наземные коммуникации, линии электропередач и являются одной из причин возникновения аварийных ситуаций на нефте- и газопроводах.

С другой стороны, естественный фон электромагнитных волновых явлений и возмущений (переменное МПЗ) в широком диапазоне частот является уникальным зондирующим инструментом для изучения структуры и динамики магнитосферы, ионосферы, геоэлектрических характеристик и внутреннего строения земной коры и нижней мантии.

В связи с этим исследования пространственно-временного распределения постоянного магнитного поля Земли, его вариаций, их физической природы являются фундаментальными и имеют актуальные прикладные аспекты: динамика и структура околоземного пространства (магнитосферы и ионосферы, распространения радиоволн от спутников и навигационных системы GPS-ГЛОНАСС), магнитная навигация и поиск полезных ископаемых, а также выделение полезных сигналов из естественного электромагнитного фона в мировом океане.

Экспериментальные и теоретические исследования в этих направлениях проводятся геофизиками и радиофизиками.

Геофизические исследования

Одним из основных перспективных направлений геофизических исследований является Генеральная магнитная съемка (ГМС) территорий РФ.

Магнитное поле от внутренних источников в Земле регулярно изменяется во времени и в пространстве, а магнитные съёмки со спутников периодически выполняемые США и ЕС дают достаточно точные значения главной части магнитного поля Земли на высоте около 400 км и его изменений при повторных съемках. Следует отметить, что магнитные съёмки со спутников были начаты в СССР, однако последний наш спутник для этих целей был запущен в 1970 г. В рамках международного сотрудничества ИЗМИРАН пока имеет доступ к данным зарубежных съемок и участвует в их анализе. На основании спутниковых данных построены две широко используемые модели глобального магнитного поля – Word Magnetic Model (WMM) и International Geomagnetic Reference Field (IGRF). Эти модели обновляются каждые 5 лет на основе непрерывных измерений магнитного поля на поверхности Земли и со спутников, что позволяет учитывать изменения источников главного магнитного поля Земли (МПЗ). Поскольку ИЗМИРАН

активно участвует в разработке IGRF, мы рекомендуем использовать именно эту модель для вычисления склонения на высотах более 200 км. Для вычисления склонения в диапазоне высот от 0 до 20 км требуется информация векторных приземных измерений, учитывающих региональные и локальные аномалии МПЗ. Эта информация для территории РФ, к сожалению, отсутствует с 1985 г.

Обе глобальные модели (WMM и IGRF) не отражают локальные и среднемасштабные аномалии и обеспечивают вычисление магнитного поля на высотах полетов спутников с точностью 0.5° . Вблизи поверхности Земли в аномальных районах ошибка склонения может превышать $7-10^\circ$. Оценочное сопоставление модельных расчетов склонения с данными некоторых российских обсерваторий, которые располагаются в слабо аномальных зонах, показывает, что ошибка достигает $2-3^\circ$.

Для учета региональных и локальных магнитных аномалий необходимо срочно провести Генеральную магнитную съемку территории России и омывающих морей с использованием компонентной наземной, аэро- и гидромагнитных съёмок, которые должны повторяться через каждые 5-10 лет для локализации аномалий векового хода МПЗ на территории РФ. Для проведения ГМС необходимо построить новые маломангнитные носители: маломангнитное научно-исследовательское судно, проект которого был разработан в СПбФ ИЗМИРАН в 1989-1991 гг. и маломангнитную летающую лабораторию на базе современного самолета с соответствующим магнитометрическим, навигационным и программным обеспечением.

В СПбФ ИЗМИРАН создается Мировая база данных приземных значений склонения, содержащая результаты измерений, полученные геофизиками разных стран (США, Канады и др.), в том числе материалы СПбФ ИЗМИРАН (ЛОИЗМИРАН), полученные во время гидромагнитных съёмок компонент геомагнитного поля в Мировом океане, проведенных на маломангнитной шхуне «Заря» в период 1957-1992 г., и данные повторных наземных измерений, выполненных регулярно на территории всего бывшего СССР по сети пунктов векового хода. Наземная компонентная магнитная съёмка территории СССР выполнялась в период 1960-85 г.г. и требует срочного обновления.

В настоящее время в СПбФ ИЗМИРАН разработана и опробирована методика вычисления склонения по данным измерений модуля полного поля ΔT . Методика предусматривает актуализацию карт векторных составляющих магнитного поля и магнитного склонения по данным современных модульных измерений, что повышает детальность и точность карт магнитного склонения на высотах до 20 км. Наибольшие погрешности пересчетов приходятся на районы аврорального и экваториального электроджетов. СПбФ ИЗМИРАН систематически раз в пять лет составляет карты

магнитного склонения для акватории Мирового океана и располагает цифровой базой данных по векторным составляющим геомагнитного поля.

Магнитное склонение в течение суток претерпевает изменения, вызванные вариациями магнитного поля Земли в средних широтах около 0.2° , а в высоких широтах в периоды сильных магнитных бурь в интервале высот от 0 до 10 км эти изменения могут достигать десятков градусов. Для исключения вышеотмеченных ошибок необходимо проводить непрерывный мониторинг вариаций магнитного поля в реальном масштабе времени на поверхности Земли в магнитных обсерваториях и/или в специально созданных пунктах, осуществляя оперативную передачу этой информации (поправки к склонению) потребителям.

К сожалению, в настоящее время не имеется современных систем для обеспечения потребителей точными и достоверными значениями магнитного склонения в реальном масштабе времени как по территории России, так и по всему земному шару. Для решения фундаментальных и прикладных задач, включая магнитную навигацию и поиск полезных ископаемых, необходимо выполнить следующее:

(1) С целью покрытия данными по магнитному склонению всей поверхности земного шара необходимо провести актуализацию карт магнитного склонения и расчеты склонения для 15% Мирового океана и 30% континентов на основе имеющихся материалов модульных измерений.

(2) Провести расчет магнитного склонения для заданного интервала высот. На основе оценки вклада региональной составляющей склонения в интервале выделенного диапазона высот определить дискретизацию разновысотной матрицы по пространственным координатам с учетом требований для магнитной навигации, включая точность магнитного склонения;

(3) Для опорных полигонов 1000 x 1000 км в районах аэропортов крупных городов в средних широтах от западной до восточной границы России построить пространственную модель магнитного склонения в виде трехмерной матрицы значений в заданном диапазоне высот с ошибкой (2σ) не более $0,75$ град;

(4) Для проведения измерений склонения на опорных полигонах России (Москва, Санкт-Петербург, Казань, Екатеринбург, Новосибирск, Иркутск, Якутск, Хабаровск, Петропавловск-Камчатский) необходимо:

- приобрести оборудование: феррозондовый инклинометр/ деклинометр (английский WILD T1+MAG 01H), протонный магнитометр (русский ММПОС-2),

квантовые магнитометры (РФ), феррозондовую магнитовариационную станцию (датский FGE), систему сбора и обработки данных.

- организовать и обучить специальную группу (группы) в составе 3-4 человек для выполнения работ на местах и выполнить экспедиционные работы.

Данная работа не заменит генеральной магнитной съемки, а будет являться наземной поддержкой и позволит определить точные значения склонения на опорных полигонах и скорректировать региональные и локальные аномалии склонения.

(5) Провести сопоставление измерений с различными глобальными моделями и сделать вывод о реальной точности магнитного склонения в различных регионах земного шара в заданном диапазоне высот.

(6) Для эксплуатации пространственных моделей опорных полигонов в течение 30 лет необходимо создать пространственно-временную модель магнитного склонения в заданном диапазоне высот. Предусмотреть возможность регулярной коррекции модели на основе результатов измерений вековых вариаций геомагнитного поля один раз в год в средних широтах и два раза в год в авроральных широтах.

Это представляет собой первый этап генеральной магнитной съемки территории России для создания современной цифровой карты магнитного склонения. Эта сложная и дорогостоящая задача может быть выполнена только в рамках специальной межведомственной программы. Маломагнитные носители, оборудование и группы, созданные на первом этапе, послужат основой для обеспечения наземной поддержки аэромагнитных и гидромагнитных съёмок.

Для регулярной корректировки глобальной модели магнитного склонения необходимо укреплять и развивать сотрудничество с зарубежными организациями, проводящими запуск специальных спутников и предусмотреть целевое финансирование соответствующих совместных программ.

Для обеспечения заданной точности магнитного склонения необходимо создание наземной сети станций, регулярно измеряющих МПЗ для введения поправок в модельные данные магнитных возмущений с целью передачи данных потребителям в реальном масштабе времени.

Таким образом, для построения современной модели векторного магнитного поля Земли (МПЗ) на территории РФ необходимо провести высокоточную (1-4 нТл) аэромагнитную компонентную съемку на высоте 5-8 км (расстояние между галсами 10 км), а также гидромагнитную съемку омывающих морей, используя спутниковые навигационные системы GPS-ГЛОНАСС и соответствующую наземную поддержку

магнитовариационными комплексами. В специальных регионах с повышенными требованиями к точности и пространственному разрешению модели, съемка на высотах 5-8 км может быть дополнена детальной съемкой модуля магнитного поля на высотах 0.5-1 км с беспилотных летательных аппаратов с соответствующей магнитовариационной поддержкой. Для уточнения вековых вариаций магнитного склонения целесообразно через 2-3 года проводить повторную съёмку всей территории России или отдельных регионов с аномальным вековым ходом.

Для учета вариаций внешнего магнитного поля необходимо проводить непрерывные наземные наблюдения геомагнитных вариаций в опорных и мобильных точках на различных полигонах России. Наземная поддержка съемки может быть обеспечена также магнитными обсерваториями стандарта INTERMAGNET в России, а международное сотрудничество по исследованию МПЗ в слабоизученных регионах позволит построить Мировую модель магнитного склонения для целей магнитной навигации на разных уровнях (наземная, морская, воздушная и спутниковая) по всему земному шару.

Следует отметить, что в случае проведения ГМС РФ магнитная навигация и ориентация могут составить альтернативу известным спутниковым системам GPS-ГЛОНАСС. Некоторая активизация исследовательских работ в этом направлении с 2014 г. происходит в Англии.

В результате проведения генеральной магнитной съемки России будет создана модель распределения модуля, склонения и других составляющих магнитного поля с высокой точностью и пространственным разрешением, что будет являться основой для фундаментальных теоретических представлений о физической природе генерации главного МПЗ, его вариаций и прикладных исследований, связанных с магнитной навигацией, ориентацией и поиском полезных ископаемых.

В теоретическом плане необходимо продолжать исследования по физической природе конвекции и тепломассопереноса, моделированию магнитного поля, эволюции и электропроводности недр Земли, планет и их ближайших спутников. Провести палеомагнитное, аналитическое изотопное тестирование различных гипотез о долговременной эволюции системы ядро-мантия для определения энергетики глобального тепломассопереноса, порождающего мантийную активность и геодинамо. Определить кинематические и нелинейные эффекты геодинамо по экспериментальным данным и палеомагнитным реконструкциям. Оценить основные механизмы генерации МПЗ с позиции гидромагнитного динамо. По данным спутниковых, обсерваторских и исторических наблюдений определить движение геомагнитных полюсов.

Провести оценку электромагнитной, геотермической и плотностной структуры мантии по спутниковым данным на основе алгоритмов решения обратной задачи геомагнитного, геоэлектрического, гравитационного потенциалов и теории магнитной гидродинамики.

Проанализировать трехмерные неоднородности земной коры и мантии по спутниковым данным (CHAMP, Swarm). Исследовать физическую природу пространственной структуры вековых вариаций главного МПЗ и изменчивости интенсивности их источников с целью выявления общих закономерностей. Провести анализ особенностей пространственно-временной структуры аномального магнитного поля земли и их источников на акватории Мирового океана.

Исследовать электропроводность и гравитационный потенциал литосферы Земли по спутниковым, аэромагнитным, гидромагнитным, наземным геомагнитным и гравитационным данным для анализа зон субдукции, молодого горообразования, активных тектонических процессов в сейсмоактивных зонах и поиска долгоживущих источников термальных вод, а также месторождений углеводородов и полиметаллических руд в земной коре.

Перспективными направлениями по исследованию геоэлектрических характеристик земной коры и верхней мантии являются комплексные зондирования естественными и мощными контролируруемыми (от генераторов и радиопередатчиков) электромагнитными полями в широком диапазоне частот от 10^{-6} до 10^5 Гц [10, 14, 15] К ним относятся известные методы на основе магнитотеллурического зондирования (МТЗ), электромагнитные зондирования с мощными контролируруемыми источниками, РМТ-К и новый метод фазово-градиентного зондирования (ФГЗ) в диапазоне частот от 10^{-4} -10 Гц, который может использоваться с оригинальными алгоритмами для площадных исследований геоэлектрической проводимости земной коры и мантии оптимальным количеством точек наблюдения с большой детальностью в труднодоступных районах (горы, джунгли, пустыни, ледовые поля).

Во всех методах применяются высокочувствительные индукционные, магнитостатические, феррозондовые и квантовые магнитометры, системы сбора и обработки информации для поиска нефте-газоносных, полиметаллических месторождений и гидротермальных источников в сейсмоактивных зонах, а также для удаленного электромагнитного мониторинга активности вулканов и землетрясений. В последней проблеме успешно используется метод пассивной ультранизкочастотной (УНЧ) магнитной локации, развитие и применение которого актуально для выявления краткосрочных электромагнитных предвестников сильных землетрясений.

Кроме того, метод УНЧ магнитной локации применяется в периоды проведения геофизических экспериментов в субавроральной зоне вблизи зоны полярных сияний для мониторинга динамики ионосферных источников геомагнитных возмущений во время магнитных бурь и суббурь, отображая появление и диссипацию особенностей горячей и холодной плазмы в магнитосфере и ионосфере, влияющих на распространение радиоволн.

Радиофизические исследования

Особенности распространения радиоволн, проблемы дифракции, радиозондирования и активные воздействия на ионизированную среду мощным радиоизлучением и радиотомография являются основными фундаментальными направлениями радиофизических исследований в околоземном космическом пространстве. Анализ нелинейных процессов, выявление оптимальных условий преобразования энергии пучка в волновую энергию, ее трансформацию в крайне низкочастотную область спектра и радиомаяковая томография находятся в ряду основных задач радиофизических исследований.

Особо следует выделить активные геофизические эксперименты по воздействию на ионосферную плазму мощным КВ радиоизлучением в высоких геомагнитных широтах – это дорогостоящие стенды HAARP (Аляска, USA) и EISCAT, Heating, (Норвегия), оснащенные диагностическими комплексами (1D – риометрическое поглощение, 3D – Imagin giometer, компонентные магнитометры, оптические наблюдения в разных диапазонах и лидары). В средних широтах действует стенд «Сура» (Россия).

Основной целью этих мощных стендов является:

- генерация ультранизкочастотных волн для дальней радиосвязи;
- диагностика естественных ионосферных процессов с целью их контроля и изменения;
- создание ионосферных линз для фокусировки (поглощения) энергии высокочастотной несущей волны с целью «запуска» (стимуляции) естественных ионосферных процессов (магнитные бури, суббури с полярными сияниями);
- ускорение электронов и реализация эмиссий в ИК и др. оптических диапазонах, что может быть использовано для контроля распространения радиоволн.
- возбуждение магнитоориентированных неоднородностей для контроля процессов отражения (поглощения) и лучшего распространения радиоволн.
- использование косвенного нагрева для влияния на процессы распространения радиоволн с целью расширения потенциальных военных приложений в ионосферных технологиях.

Вышеотмеченные цели включают фундаментальные и прикладные исследования, направленные на решение задач излучения и распространения электромагнитных волн в средах, характеризующихся неоднородностью, дисперсией и присутствием стохастической компоненты и излучением движущихся заряженных частиц в этих средах. Последнее актуально при приеме сигналов от навигационных спутниковых систем (GPS, ГЛОНАСС), т.к. необходимо развивать и совершенствовать теоретические методы описания распространения высокочастотных волновых полей в трансионосферных стохастических радиоканалах в условиях сильных флуктуаций амплитуды поля в неоднородной фоновой плазме в ионосфере с учетом эффективных моделей распределения холодной плазмы при различной магнитной активности внутри плазмосферы, на плазмопаузе и в зонах аврорального и экваториального электроджетов.

Развивается теория излучения и распространения электромагнитных волн в средах со сложными границами и исследуется поле в сингулярной зоне излучателя для определения эффективности низкочастотных излучателей при их размещении вблизи границ естественного или искусственного рельефа.

В теории движущихся заряженных частиц проводятся исследования излучения заряда в присутствии изотропной киральной среды (свойство киральности обусловлено структурой частиц вещества) и излучения пучка заряженных частиц, движущихся в присутствии сетчатого экрана.

Развивается теория нелинейных волновых процессов в неоднородных средах с аналитическим представлением динамики мощных коротких импульсов с амплитудой и частотной модуляцией, сложной модовой структурой в градиентных волновых каналах с продольной неоднородностью.

В последние годы актуально развитие исследований литосферно-атмосферно-ионосферных связей при активизации электродинамических процессов в атмосфере и ионосфере в период подготовки и возникновения землетрясений.

Для решения этой сложной проблемы, связанной с возможным выделением краткосрочных предвестников землетрясений, взрывов вулканов и динамикой тайфунов создаются физические основы спутниковой системы мониторинга катастрофических явлений, сопровождающиеся инъекцией и переносом заряженных аэрозолей. Создаются методы расчета пространственного распределения электрического поля в системе атмосфера-ионосфера. Тропосферные электрические разряды от инъекции заряженных аэрозолей во время активизации тектонических процессов и землетрясений приводят к излучению и рассеянию радиоволн УКВ диапазона, тепловым и оптическим явлениям, а

также создают вклад и влияют на ионосферные источники геомагнитных возмущений, что возможно фиксировать на низколетящих спутниках.

Из представленных основных перспективных направлений фундаментальных и прикладных исследований в области геофизики и радиофизики следует выделить следующие:

- Проведение Генеральной магнитной съемки территории России.
- Создание современной базы геомагнитных данных для построения мировых магнитных карт по всем компонентам магнитного поля.
- Теоретические представления физических процессов генерации главного магнитного поля Земли и его вариаций в широком диапазоне частот.
- Палеомагнитные исследования для уточнения шкал инверсий магнитного поля Земли.
- Развитие магнитной навигации и ориентации в Мировом океане.
- Разведка месторождений полезных ископаемых (углеводороды и полиметаллы).
- Мониторинг электромагнитной активности вулканов и выделение краткосрочных предвестников сильных землетрясений и раннего оповещения цунами.
- Развитие теории нелинейных волновых процессов в неоднородных средах.
- Развитие теории излучения и распространения радиоволн в средах со сложными границами для определения эффективности низкочастотных излучателей.
- Проблемы распространения радиоволн, дифракции, радиозондирования и радиотомографии.
- Развитие теоретических представлений и интерпретация радиофизических явлений при воздействии на магнитосферно-ионосферную плазму мощными наземными излучателями электромагнитных волн (стенды: HAARP, EISCAT, «Сура»).
- Повышение точности приема радиосигналов со спутниковых систем навигации (GPS, ГЛОНАСС).
- Развитие электродинамических представлений литосферно-атмосферно-ионосферных связей для создания спутниковой системы мониторинга краткосрочных предвестников землетрясений, контроля взрывов вулканов и динамики тайфунов.

В данном разделе представлен анализ мировых и российских тенденций развития фундаментальных и прикладных исследований в области физико-математических наук. На примере крупных дисциплинарных разделов дана картина развития этих исследований в Санкт-Петербурге. Показана роль и участие петербургских ученых в международном научном процессе. Выделены наиболее перспективные направления развития научно-технического потенциала Санкт-Петербурга, которые соответствуют мировому уровню развития науки, а часто и определяют его. Даны рекомендации о поддержке наиболее результативных направлений исследований в области физико-математических наук в Санкт-Петербурге.

2 Основные тенденции современного развития энергетики в Санкт-Петербурге: проблемы и перспективы

2.1 Физико-химические основы энергетической утилизации углеродосодержащих отходов

2.1.1 Цель работы и решаемые задачи:

В настоящее время в России остро стоит вопрос энергообеспечения труднодоступных территорий, расположенных в не зоны централизованного электроснабжения, где проживает порядка 20% общей численности населения страны. Доставка топлива в эти регионы требует больших затрат, не обеспечивает стабильного энергоснабжения и препятствует их устойчивому социально-экономическому развитию. Поэтому крайне важно использовать имеющиеся местные доступные энергоресурсы. Как правило, такие регионы обладают значительным потенциалом биомассы растительного и животного происхождения, в том числе различными видами углеродосодержащих отходов, из которых можно получить энергетический ресурс в виде твердого, жидкого и газообразного топлива. Биогазовые технологии получения топлива являются относительно недорогими и эффективными способами получения электрической и тепловой энергии. Для этого традиционно используются различные теплоэнергетические установки, недостатком которых являются высокие требования к составу топлива и сравнительно низкие КПД. В последнее время возрос интерес к получению из биогазов, образующихся при разложении углеродосодержащих отходов, энергетически более ценного и экологически чистого водородсодержащего топлива, которое можно использовать в топливных элементах, позволяющих получать электрическую и тепловую энергию. С учетом доступности источников биогазов и при условии создания эффективной технологии получения из них водородсодержащего топлива появляется возможность развития автономной водородной энергетики на базе местного топливного ресурса, что требует разработки инновационных технологий по созданию когенерационных установок на базе системы топливных элементов. Это одно из приоритетных направлений в современной мировой энергетике.

В СПбПУ создан экспериментальный комплекс для получения из биогазов высококачественного водородсодержащего топлива, состоящий из следующих модулей: генерации биогаза, его аккумуляции и очистки, реформинга метана с получением водорода и топливного элемента. В биореакторы закладываются модельные образцы

отходов, получаемый биогаз подается в модули очистки, где из него выделяется метан (более 95% об.), из которого в топливном процессоре получается водород высокой чистоты для дальнейшей подачи в низкотемпературный топливный элемент с полимерной мембраной. Экспериментально подтверждено стабильное получение водорода высокой чистоты (98,5% об.) при подаче биометана (95% об.) в широком диапазоне нагрузок реформера (30-100% от номинальной). Содержание CO в реформате составляет менее 10 ppm, соответственно CO₂ – 270 менее ppm. Были так же проведены эксперименты при подаче в реформер «слабого» биогаза, содержащего метан 30-45% об. При этом концентрация водорода в реформате оставалась высокой (более 93% об.). Это расширяет возможности использования в автономной энергетике значительно потенциала «слабых» биогазов с относительно невысокой концентрацией органосодержащей компоненты для получения электрической и тепловой энергии. Кроме водорода в реформате зафиксировано содержание метана до 2% об. Подтверждена возможность прямого использования водородосодержащего топлива с остаточным содержанием метана в низкотемпературном топливном элементе.

Результаты исследований могут быть использованы для обоснования параметров автономной энергосистемы энергоснабжения индивидуального дома, использующей в качестве основного источника энергии водород, получаемый из биогаза.

2.1.2 Краткий анализ состояния исследований (в РФ и за рубежом) в предметной области, оценка новизны и перспективности реализации предлагаемых подходов для достижения цели работы

В настоящее время основная часть водорода в мире производится из природного газа. Однако из-за ожидаемого дефицита и увеличения стоимости природного газа уже сейчас ставится задача получения водорода с использованием возобновляемых энергоресурсов – ветровой, солнечной и гидравлической энергии, а также из биомассы термохимическими и биоэнергетическими методами.

Анализ технологий производства водорода показывает, что водород, получаемый из биогаза сельскохозяйственных отходов, оказывается в 1,4 – 1,7 раза дешевле электролизного водорода, а также водорода, получаемого с использованием гидравлической и ветровой энергии, и более чем в 10 раз дешевле водорода, получаемого с использованием электроэнергии от фотоэлектрических установок.

В перспективе следует ожидать удорожания природного газа, вследствие чего производство водорода из биогазов станет примерно в 2 раза дешевле, чем из природного газа. Стоимость водорода из биогаза будет сопоставима со стоимостью электролизного водорода, полученного с помощью электрической энергии, гидравлических и ветровых

электростанций, и в 4,5 раза дешевле водорода, полученного с использованием фотоэлектрических установок. Таким образом, целесообразность получения водорода из биогазов с последующим его использованием для производства электрической энергии совершенно очевидна.

Биогазовые технологии находят все более широкое применение в местной энергетике, так как являются относительно простыми, недорогими и эффективными способами энергетической утилизации органосодержащих отходов.

Актуальной задачей является создание эффективных технологий очистки биогазов с целью получения газа с содержанием метана (95% об. и выше) в зависимости от требований потребителя. При решении задачи очистки биогаза открывается перспектива получения из него водорода, основным сырьем для производства которого в настоящее время является природный газ. Получать биогаз можно повсеместно, так как органосодержащие отходы постоянно образуются в процессе хозяйственной деятельности человека, между тем ресурсы природного газа ограничены, а его использование лимитируется. Технологии получения водорода из отходов являются дорогостоящими, поэтому возникает задача снижения затрат, используя имеющийся технологический задел по ключевым звеньям получения водорода из биогазов.

Особый интерес представляет получение водорода для низкотемпературных топливных элементов, так как они в наибольшей степени подходят для автономных потребителей в широком диапазоне нагрузок от сотен ватт до нескольких десятков киловатт. Их эффективность во многом определяется чистотой и стоимостью водорода. За рубежом проводятся работы по получению водорода из биогазов и его использованию в электроснабжении мелких потребителей. Выявлены недостатки установок - низкое содержание водорода в реформате (70-80% об.) и наличие в нем вредных примесей. Это требует применения дорогостоящих и сложных в эксплуатации систем для его очистки, что приводит к увеличению энергоемкости процесса и снижению эффективности. Поэтому крайне актуальной является разработка технологий получения из биогазов относительно дешевого, достаточно «чистого» водорода и способов его прямого использования в низкотемпературных водородных топливных элементах.

Вопросам энергетического использования биогазов посвящен ряд исследований в России и за рубежом. В основном рассматриваются вопросы технологий и разработок, связанных с получением и полезным использованием метана со свалок твердых биологических отходов в качестве возобновляемого источника энергии. Одним из инновационных направлений энергетики отходов является получение из свалочного метана энергетически более ценного топлива – водорода. Этому направлению посвящено

сравнительно немного работ отечественных и зарубежных ученых. В частности, при выполнении ФЦП по теме «Разработка и создание инновационных энергетических технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов на полигонах» был создан экспериментальный комплекс для производства водорода из углеродосодержащих отходов для применения в топливных элементах. Проведенные исследования подтвердили возможность прямой подачи полученного из биогаза реформата с высоким содержанием водорода (98% об.) в топливный элемент. Это позволяет снизить затраты на получение электрической энергии, так как появляется возможность отказаться от дорогостоящих систем очистки реформата от остаточного метана. Вместе с тем экспериментально установлена необходимость сброса части высококачественного топлива из-за экранирующего эффекта метановой компоненты в топливном элементе, что снижает эффективность энергетического процесса. Создание тандемной системы, включающей низкотемпературную и высокотемпературную части с замкнутым энергетическим циклом и регенерацией тепла для получения электрической и тепловой компоненты, позволит повысить коэффициент использования топлива в целом, и сбросное топливо из низкотемпературного топливного элемента перерабатывать в высокотемпературной части. Подобные системы требуют изучения, оптимизации параметров процессов использования топлива в тандемной установке, отработки вариантов технологических решений, создания когенерационных установок для производства электрической и тепловой энергии. При успешном решении поставленной задачи предлагаемая технология может быть использована для создания систем автономного энергообеспечения на базе топливных элементов, потребляющих водородсодержащее топливо с высоким коэффициентом его использования.

Низкое содержание остаточного метана открывает возможность прямого использования реформата в топливном элементе, что позволит отказаться от дорогостоящих технологий его очистки. Соответственно, возникает задача использования потенциала вторичного ресурса высококачественного топлива. Наличие остаточного содержания метана в реформате предполагает организацию в системе использования конверторного топлива стадии дорогостоящей очистки водорода от метана. Вопрос о влиянии остаточных количеств метана в водородсодержащей смеси при ее использовании в твердополимерном топливном элементе представляется малоизученным. Известно, что метан не окисляется на аноде низкотемпературного топливного элемента по термодинамическому запрету, однако, присутствие CH_4 в газовой водородсодержащей смеси может создать эффект экранирования каталитической поверхности мембраны топливного элемента, следовательно, замедлить стадию массопереноса молекул H_2 и

затруднить кинетику окисления водорода. Анализ публикаций по данному вопросу показал отсутствие необходимых данных об экспериментальных исследованиях, касающихся влияния остаточных количеств метана на состояние поверхности твердополимерной мембраны, эффективную площадь поверхности платинового катализатора, вольт-амперные характеристики топливной ячейки, индикаторы мощности при циклировании и в стационарных условиях.

Проведенные исследования режимов работы энергетической установки на водородсодержащем топливе с остаточным содержанием метана (2% об.), позволяют констатировать стабильную работу на таком нестандартном топливе и могут быть положены в основу дальнейших экспериментов по оценке эффективности подобных систем.

В процессе исследований выявлено, что часть водородсодержащего топлива необходимо сбрасывать для обеспечения работоспособности низкотемпературного узла. Соответственно, возникает задача использования потенциала вторичного ресурса высококачественного топлива. Для ее решения предлагается создание тандемной установки, состоящей из низкотемпературной части и высокотемпературной части с замкнутым топливным циклом и регенерацией тепла для получения электрической и тепловой компоненты.

2.1.3 Описание ожидаемых результатов

Изучение, оптимизация параметров процессов получения высококачественного водородсодержащего топлива из биогазов углеродсодержащих отходов.

Исследование процессов использования водородсодержащего топлива в тандемной установке, отработка вариантов технологических решений, создание когенерационных установок для производства электрической и тепловой энергии.

Разработка алгоритмов, математических моделей и технических решений для создания энергоэффективных когенерационных энергоустановок на базе топливных элементов в системах автономного энергоснабжения потребителей с использованием высококачественного водородсодержащего топлива из биогазов углеродсодержащих отходов.

Создание макета когенерационной энергетической установки на базе топливных элементов, работающей на высококачественном топливе из биогазов, для изучения и оптимизации режимов работы с замкнутым энергетическим циклом и регенерацией тепла для получения электрической и тепловой компоненты.

Полученные патенты и выполненные разработки могут стать основой для создания инновационных когенерационных энергоустановок на базе топливных элементов в системах автономного энергообеспечения с использованием высококачественного топлива на основе биогазов.

2.1.4 Сведения о наличии ранее выполненных работ по данной теме, являющихся научно-техническим заданием

- ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по теме «Разработка способа глубокой очистки биогазов полигонов твердых коммунальных отходов и получение экологически чистого энергоносителя». Шифр заявки 2007-5-1.5-17-04-034. Государственный контракт на выполнение научно-исследовательских работ № 02.515.11.5025 от 25.04.2007. В результате исследования разработаны аппаратный комплекс и методы оценки потенциала метана в биогазах из органосодержащих компонентов. Получено 2 патента РФ: Патент РФ (Полезная модель) N2008148241 25.10.2008 и Патент РФ (Полезная модель) N2008130031/15(037245) 21.07.2008.

- ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» по теме «Разработка и создание инновационных энергетических технологий переработки и утилизации техногенных образований и отходов на полигонах». Шифр заявки «2010-1.1-222-039-064» Государственный контракт № 02.740.11.0680 от 29.03.2010. В результате выполнения работы создан макет энергетической установки мощностью 50 Вт на базе низкотемпературного топливного элемента. Патент РФ №2475899 от 18.08.2011.

2.2 Физика и техника достижения максимальной плотности энергии и температуры в газах высоких давлений, а также разработка новых принципов коммутационной аппаратуры

2.2.1 Актуальность

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач в области высоковольтной энергетики является разработка новых конструкций сильноточных коммутационных высоковольтных устройств, а также материалов и технологий для изготовления их контактных систем. Однако экспериментальная проверка новых разработок остаётся весьма непростой и затратной задачей, т. к. моделирование тока сетевой частоты с амплитудой в десятки и сотни килоампер требует сложного и дорогостоящего оборудования. Несмотря на то, что конструкции сильноточных высоковольтных коммутаторов разрабатываются и эксплуатируются уже многие десятилетия, до настоящего времени отсутствуют всесторонние исследования происходящих в них процессов современными диагностическими методами. По нашему мнению необходимость в таких исследованиях очевидна, а их результаты будут востребованы во многих областях науки и техники. В частности, несомненный интерес представляют такие вопросы как электрофизические параметры и газодинамика сильноточных дуг переменной длины и их зависимость от конструкции коммутирующего устройства; влияние типа газа и его рабочего давления на характеристики устройства, зависимость эрозии контактов от их материала и условий работы и т. д.

В рамках выполнения НИР будут получены необходимые экспериментальные данные, а на их основе создана физико-математическая модель сопряжённой задачи нестационарного истечения струи из разрядной камеры с деформируемыми стенками камеры и сопла, что позволит выработать рекомендации по дальнейшему совершенствованию систем дугогашения.

Уровень ожидаемых экспериментальных результатов сопоставим с мировым, а по ряду позиций параметры эксперимента и диагностические методы являются уникальными в данной области науки и техники.

Для сильноточных дуг переменной длины, горящих в потоке холодного газа, очень мало систематических экспериментальных данных по их электрофизическим параметрам и газодинамике, а их теоретическое обобщение отсутствует. В литературе приводятся в основном расчетные оценки и полуэмпирические зависимости. При конструировании высоковольтных коммутаторов и систем молниезащиты по-прежнему на первом месте

остаются экспериментальные испытания, что существенно увеличивает затраты и сроки их разработки. Комплексные данные о процессах, происходящих в таких устройствах, а также адекватная физико-математическая модель этих процессов будут представлять несомненный интерес для специалистов, работающих в этих и смежных областях.

В рамках выполнения НИР будут созданы экспериментальные установки для моделирования процесса дугогашения, позволяющие использовать широкий спектр диагностик, как электрофизических, так и оптических. Будут проведены комплексные исследования процессов в канале дуги и в объеме камеры в режиме дугогашения при давлении газа 1-8 МПа, амплитуде разрядного тока 20–150 кА, и длительности первого полупериода тока 1-5 мс. Также будут исследованы зависимость величины и механизмов эрозии различных контактных материалов от условий эксперимента. Планируется получить систематические данные о пространственном распределении эродировавшего материала в объеме разряда, о динамике его поступления в токовый канал и разрядный объем, а также о его фракционном составе. Будет исследовано влияние электродных струй на параметры канала разряда, а также возможность повышения граничного тока их возникновения. Для решения поставленных задач предполагается использовать уникальный комплекс диагностик, включающий в себя высокоскоростную фотосъемку, высокоскоростную пирометрию, высокоскоростную спектроскопию с пространственным разрешением и оригинальный метод рентгено-импульсного просвечивания. Полученные экспериментальные данные позволят сделать выводы о разработке новых и возможности совершенствования существующих конструкций высоковольтных выключателей, а также провести сравнительный анализ свойств различных контактных материалов, как традиционных, так и новейших разработок. Для решения поставленных задач предполагается использовать следующие методы и подходы:

- Будет создана экспериментальная установка для моделирования процесса дугогашения, позволяющая использовать широкий спектр диагностик, как электрофизических, так и оптических.
- Экспериментальные параметры будут регистрироваться с помощью уникального комплекса диагностик, включающего в себя высокоскоростную фотосъемку, высокоскоростную пирометрию, высокоскоростную спектроскопии с пространственным разрешением (fast imaging spectroscopy) и оригинальный метод рентгено-импульсного просвечивания. Созданный комплекс диагностики соответствует самому современному научному и техническому уровню.

- С помощью рентгеновского теневого просвечивания будут проведены исследования влияния электродных струй на параметры канала разряда и изучены зоны формирования и столкновения анодной и катодной эрозионных струй.
- Использование теневого метода позволит получить данные о конфигурации и эволюции газового течения вне объема разрядной камеры. Это позволит анимировать движение газа и измерить скорость перемещения газодинамических фронтов.
- Будет разработана физико-математическая модель сопряжённой задачи нестационарного истечения струи из разрядной камеры. С помощью этой модели будут выработаны предложения по оптимизации формы камеры и геометрии сопла, с целью обеспечить устойчивый режим истечения с наименьшим размером струи в зоне выхлопа и наибольшим временем сохранения относительно высокого давления в разрядной камере.
- Разработка и испытания разрядной камеры с подвижной электродной системой и охлаждением дуги потоком газа.
 - 1) Создание экспериментального стенда для моделирования процесса дугогашения.
 - 2) Исследование электрофизических параметров дуг переменной длины при давлениях газа 1–8 МПа и амплитуде тока 20-150 кА.
 - 3) Исследование основных факторов, влияющих на характеристики процесса дугогашения.
 - 4) Исследование новых контактных материалов.

2.2.2 Анализ полученных экспериментальных данных

Полученные экспериментальные данные и результаты теоретического анализа будут представлять несомненный интерес как с теоретической так и с практической точки зрения и соответствовать мировому уровню. В рамках выполнения НИР предполагается разработать концепцию электродной системы прототипа мощного коммутатора тока оригинальной конструкции. Значительная часть ожидаемых результатов будет получена впервые и представлять несомненный интерес для широкого круга исследователей (особенно при разработке высокоресурсных электродных узлов сильноточных размыкателей тока, при создании мощных импульсных плазмотронов, разработке систем молниезащиты и т.п.).

2.3 Технологии плазменной газификации биомассы, включая создание оборудования. Разработка и создание плазменных газификаторов биомассы и создание на их базе автономных энергетических систем и накопителей энергии (в синтез-газе).

Более 80% потребляемой человечеством энергии приходится на ископаемые топлива: нефть, газ, уголь. На фоне постоянного роста потребления первичной энергии проблема исчерпаемости этих ресурсов год от года становится все актуальнее. Помимо этого энерготехнологическое использование ископаемых топлив приводит к выбросам в атмосферу парниковых газов, таких как диоксид углерода, концентрация которых в атмосфере планеты неуклонно растет, что является причиной глобальных климатических изменений. Кроме того сам процесс производства энергии из ископаемых топлив обладает низкой эффективностью и приводит к образованию больших количеств неиспользованной энергии в виде тепла, которые также поступают в окружающую среду.

С другой стороны оценки показывают, что энергетический потенциал биомассы планеты, достаточен для полного покрытия энергетических нужд человечества сейчас и в ближайшем будущем (с учетом роста). К этим ресурсам относятся продукты и отходы лесного хозяйства и деревообработки, продукты и отходы сельского хозяйства, водоросли, торф. Главным преимуществом этого вида энергоресурсов является их возобновляемость, а также то, что их энергетическое использование не приводит к дополнительной эмиссии углекислого газа, поскольку интегрируется в естественный углеродный баланс. С некоторыми допущениями к биомассе можно отнести и твердые бытовые отходы.

Традиционно энергетическое использование твердой биомассы связано с процессом сжигания и получением тепловой энергии. Для получения электрической энергии в промышленности используется цикл Ренкина, по которому энергия сгорания топлива преобразуется в энергию водяного пара, которая в свою очередь вращает ротор паровой турбины и электрогенератор. По такому циклу работают все угольные электростанции РФ. Электрическая эффективность крупных установок достигает 35-40%, а суммарная, при использовании тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения — 85-90%.

Наибольшей электрической эффективностью на сегодняшний день обладает комбинированный паро-газовый цикл, представляющий собой комбинацию газовой и паровой турбин. В этом цикле используется газообразное топливо (например, природный газ), энергия сгорания которого вращает ротор газовой турбины (цикл Брайтона) и электрогенератор, а теплота продуктов сгорания используется для получения водяного

пара и работы паровой турбины с электрогенератором. Электрическая эффективность такого процесса для крупных установок достигает 68%. В РФ существует несколько электростанций работающих по этому циклу (например, Северо-Западная ТЭЦ в Санкт-Петербурге).

Для использования этого цикла при энергетическом использовании твердого топлива, последнее необходимо подвергнуть процессу газификации, при котором органическая составляющая твердого топлива преобразуется в горючий синтез-газ (смесь CO и H₂). Процессы и установки газификации были широко распространены в начале 20-го века и в послевоенный период и впоследствии были вытеснены нефтью и природным газом. Процесс газификации — эндотермический, т.е. требует затрат энергии, которая традиционно поступает от сгорания топлива (автотермический процесс). Также возможна организация аллотермического процесса, когда энергия для эндотермических реакций поступает от внешнего источника.

Основываясь на этих идеях, разработана технология IGCC (комбинированный цикл с внутрицикловой газификацией) по которой строятся все современные угольные электростанции в мире. Если же говорить об использовании энергии биомассы, то здесь наиболее перспективно применение в процессе газификации низкотемпературной воздушной плазмы, играющей одновременно роль и окислителя и стороннего источника энергии.

За рубежом плазменные технологии для получения энергии из твердых отходов и биомассы уже созданы и по ним строятся крупные предприятия в Англии, США, Японии, Китае и Индии. В РФ в ряде научных организаций созданы экспериментальные образцы и прототипы.

Основным отличием, теоретической и практической новизной предлагаемой и исследуемой технологии от мировых аналогов, является использование низкотемпературной воздушной плазмы непосредственно в процессе газификации как окислителя и поставщика внешней энергии для компенсации эндотермического эффекта реакций. Этот процесс с одной стороны обладает повышенным уровнем затрат электрической энергии (до 1-1,5 кВт·ч на 1 кг отходов), но с другой позволяет получать более качественный синтез-газ, содержащий преимущественно теплоценные компоненты, с низким содержанием балластных примесей и смол, что влечет за собой более широкий спектр возможностей по его дальнейшему использованию, увеличение эффективности процесса в целом и обеспечивает наиболее экологически чистый процесс переработки отходов. ИЭЭ РАН занимается исследованием процесса плазменной газификации отходов в течение последних нескольких лет. На стендах института создана экспериментальная

установка укрупненного масштаба. На ней проведена серия экспериментов, подтвердивших перспективность исследуемого метода. Не решенными остаётся ряд технических и технологических задач, в том числе связанных и с фундаментальными проблемами физики. В частности одной из проблем при переработке отходов является вывод из реактора твердой несгораемой компоненты отходов в виде остеклованного шлака. В практике известны случаи, когда по неразрешимости этого вопроса приходилось сворачивать довольно крупные проекты. Практически эта задача решаема, но в исследуемом процессе необходимо ее рассматривать в свете снижения и оптимизации энергетических затрат, которые непосредственно влияют на экономику процесса и связанные с этим перспективы его внедрения. Кроме того в случае переработки бытовых отходов актуальным вопросом является газоочистка. В этой области также нужны дополнительные исследования о влиянии применения воздушной плазмы на образование вредных компонентов в составе синтез-газа.

Результаты работы могут быть использованы при разработке локальных высокоэффективных источников электрической и тепловой энергии, использующих местные ресурсы биомассы, или утилизирующие твердые бытовые отходы. Исследуемая технология позволяет наиболее полно преобразовывать энергию биомассы в полезные виды энергии — электричество и тепло.

2.4 Плазмохимия, в частности, конверсия метана плазменными методами с целью получения жидких синтетических топлив

Россия – обладает внушительными запасами нефти и природного газа. В настоящее время попутный газ в основном сжигается вблизи мест нефтедобычи. Использование попутного газа в традиционных технологических процессах требует создания специальных газопроводов и экономически оправдано лишь вблизи крупных нефтяных месторождений. Перспективными являются технологии позволяющие производить жидкие углеводороды непосредственно из природного/попутного газа.

Предлагается разработать и внедрить технологический процесс конверсии природного/попутного газа в жидкие моторные топлива на основе экспериментальных данных полученных в ИЭЭ РАН. Конверсия метана осуществляется в плазме водяного пара и диоксида углерода получаемой в генераторе плазмы переменного тока. Реакции превращения происходят как внутри генератора плазмы так и в выходящей из него высокотемпературной плазменной струе, которая направляется в реакционный объем позволяющий обеспечить необходимое время пребывания компонентов при определенной температуре. На выходе из системы получается синтез-газ – смесь водорода и оксида углерода в оптимальных для последующего этапа каталитической конверсии соотношениях (1,8-2,5). Преимущества технологии: одноэтапный процесс; степень конверсии метана более 95%; компактность оборудования; низкие энергетические показатели.

Прямых аналогов предлагаемой технологии не существует. Во многих научных лабораториях мира проводятся исследования похожих процессов на маломощном лабораторном оборудовании.

Известны 3 метода конверсии метана в синтез-газ:

- паровая конверсия;
- парциальное окисление кислородом;
- углекислотная конверсия.

Наиболее широкое распространение в промышленности получил метод паровой конверсии. Реакцию проводят при температуре 700-900 °С на Ni-катализаторе. Основными параметрами, характеризующими эффективность многотоннажного промышленного процесса паровой конверсии метана на катализаторах, являются удельная производительность продуктового газа по энергетической мощности (в МВт на м³ объема реактора), степень конверсии метана и удельные затраты энергии. По различным источникам производительность считается хорошей в интервале 10-25 МВт/м³,

допустимая степень конверсии 75 % и более. Для более глубокой переработки используют многоступенчатые методы, что усложняет технологию. Затраты энергии относительно велики, по сравнению со стехиометрическими оценками, так как обычно используется существенный избыток пара ($\text{H}_2\text{O}:\text{CH}_4 \geq 2$) и тепловая энергия передаётся методом сопряжённой теплопередачи, когда реакционные трубки с каталитической насадкой подогреваются горячим теплоносителем (температура процесса ≤ 1000 °С), обтекающим их снаружи. Этот метод не удовлетворяет в полной мере требованиям эффективности. Затраты обычно составляют 10-15 кВт·ч (36-54 МДж) на 1 кг метана. Основными недостатками считаются чувствительность катализаторов к соединениям серы, пироуглероду и термическим нагрузкам. Кроме того использование мелкодисперсного катализатора, для повышения эффективности, значительно увеличивает стоимость продукта.

В экспериментах по плазмохимической конверсии метана получена производительность 3-5 МВт/м³. Предварительные оценки показывают, что её можно повысить, по крайней мере, до ~10 МВт/м³. Достигнута степень превращения метана 98-99 %, а удельные затраты электроэнергии на процесс составляют 7-8 кВт·ч/кг. Эта цифра получена на экспериментальном (другими словами не оптимальном) реакторе малой производительности и при увеличении масштаба и оптимизации теплопотерь также будет уменьшена. Дополнительным преимуществом процесса является отсутствие в нем катализаторов.

В ходе выполнения работ планируется создать пилотный плазмохимический реактор, представляющий из себя классический проточный реактор выполненный в виде полого цилиндра, с одной стороны которого осуществляется ввод сырья (метана) и плазмы, а с другой вывод продуктов реакции (синтез-газа). Стенки цилиндра выполняются из огнеупорной керамики способной длительное время выдерживать рабочую температуру процесса (1500-1700 °С) и воздействие компонент реакционной смеси. Снаружи слоя огнеупорной керамики выполняется многослойная теплоизоляция, позволяющая минимизировать потери тепла из реактора. Всё это помещается внутрь металлической обечайки, выполняющей функции несущего элемента конструкции. Ввод сырья в реактор осуществляется через специальное устройство, позволяющее эффективно распределить сырьё по объёму реактора и перемешать с плазмой, поступающей из выходного сопла генератора плазмы. Компоновка и конфигурация реактора оптимизируются для осуществления процесса конверсии метана в синтез-газ, брутто-реакцию которого можно записать как: $0,8 \text{CH}_4 + 0,6 \text{H}_2\text{O} + 0,2 \text{CO}_2 + E = 2,2 \text{H}_2 + \text{CO}$, где E это энергия, поступающая от генератора плазмы.

Генератор плазмы — электродуговой, переменного тока, трехфазный, высоковольтный с полыми цилиндрическими электродами. Плазмообразующая среда — перегретый водяной пар в смеси с диоксидом углерода и метаном.

Пилотный плазмохимический реактор будет оснащен комплексом диагностического оборудования позволяющего измерять давления, температуру, тепловые потоки и состав газовой фазы в различных зонах реактора, проводить оптические и спектральные исследования.

Назначение технологии: получение жидких моторных топлив из природного/попутного газа, повышение эффективности использования попутного нефтяного газа.

Область применения: технология может найти применение на нефтяных и газовых месторождениях для получения из природного/попутного газа жидких моторных топлив и других углеводородов.

В результате работы будет создан мощный генератор плазмы переменного тока, а также прототип реакционной камеры позволяющие проводить процесс конверсии природного/попутного газа в синтез-газ с эффективностью не ниже 95%.

2.5 Физика мощных импульсных разрядов мегаамперного диапазона в сверхплотных средах, в сверхсильных электрических и магнитных полях и разработка мощных источников ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения, импульсных генераторов плазмы с энергией

В настоящее время наблюдается усиление интереса к исследованию плотных плазменных состояний. Он связан с существенным прогрессом в достижении экстремальных параметров плазмы в различного рода устройствах, в которых для сжатия энергии в пространстве и во времени используются Z -пинчи. Сюда относятся плазменный фокус, «горячие точки», образованные эволюцией перетяжек Z -пинчей быстрых разрядов, X -пинчи, многопроволочные сборки и т.д.

Однако высокие параметры плазмы существуют в наносекундном диапазоне длительности разряда в объеме не более нескольких кубических миллиметров и требуют для своей реализации сложной высоковольтной техники. В таких разрядах скорость нарастания тока dI/dt составляет, как правило, величину порядка 10^{14} А/с и более.

Плотные плазменные состояния большего объема с концентрацией электронов ($10^{18} - 10^{20}$) см^{-3} и температурой ($10^5 - 10^6$) К могут быть получены в плотных Z -пинчах, окруженных газом при высоком давлении. Такие пинчи более устойчивы к магнито-гидродинамическим неустойчивостям, чем плазменный канал, находящийся в вакууме. Поэтому для питания таких разрядов можно использовать более медленные и относительно более дешевые конденсаторные батареи. Возрастание плотности газа в канале при одновременном сохранении или увеличении его температуры может привести к увеличению интенсивности рентгеновского излучения из канала разряда.

Из-за высокой начальной плотности рабочего газа в разрядном объеме возникают ударные и звуковые волны. Они могут влиять на нагрев окружающего газа в разрядной камере и изменять свойства самого канала разряда. При фокусировке отраженных ударных волн в центре разрядной камеры возможен дополнительный нагрев газа на оси разряда. Акустические колебания канала разряда могут возникать в связи с выравниванием магнитного и газокINETического давлений в нем. Их взаимодействие с ударными волнами также может приводить к дополнительному увеличению плотности энергии в канале разряда. Эти, в настоящее время недостаточно изученные, явления могут коренным образом менять характер процессов в электроразрядных устройствах.

В разряде указанных параметров возникает ряд новых, недостаточно изученных ранее явлений, как в самой дуге, так и при ее теплообмене с окружающим газом:

При переходе к высокому начальному давлению рабочего газа, достигающему десятков и сотен мегапаскалей, меняются излучательные характеристики канала разряда. Это связано с изменением температуры и плотности в самом канале, вследствие чего меняется его прозрачность, а также с изменением прозрачности переходного слоя между дугой и окружающим газом. На периферии канала разряда может формироваться область фотоионизационной плазмы, состоящей преимущественно из вещества рабочего газа. Вследствие «запертости» излучения возможно повышение температуры в осевой зоне канала. При дальнейшем повышении температуры и концентрации излучающих ионов возможно сжатие канала, связанное с преобладанием излученной мощности над введенной в канал джоулевой. В этом случае сжатие канала может происходить с увеличением плотности энергии в нем.

В литературе приводятся в основном расчетные оценки и полуэмпирические зависимости. Комплексные данные о процессах, происходящих в мощных разрядах в плотной газовой среде, а также адекватные физико-математические модели этих процессов, отсутствуют.

Уровень ожидаемых экспериментальных и теоретических результатов сопоставим с мировым, а по ряду позиций параметры эксперимента и диагностические методы являются уникальными в данной области науки и техники.

На протяжении ряда лет мы развиваем методы диагностики мощных электрических разрядов экстремальных параметров в плотных средах. Ранее мы разработали оригинальный метод рентгеновского просвечивания сильноточного разряда высокого давления, который позволяет исследовать распределение вещества в межэлектродном промежутке в разряде.

Распределение вещества не дает прямых данных о пространственном распределении плотности тока, что является важнейшим параметром системы. Пространственное распределение тока можно вычислить на основе измерения магнитных полей в системе. Благодаря простоте базовых принципов магнитные зонды являются традиционным рутинным контактным методом для такой диагностики. Однако, применение этого метода в случае мощного импульсного разряда в газе высокого давления наталкивается на серьезную проблему защиты зондов от ударноволновых и экстремальных тепловых нагрузок. Разработана методика магнитозондовой диагностики мощного газового разряда с током мегаамперного диапазона при давлении газа до 35 МПа.

Следующим шагом является непосредственное измерение электрического поля в канале разряда.

Применение комплекса методов даст наиболее полную картину развития разряда.

Предполагается получить разряд с продолжительностью максимально сжатого состояния порядка нескольких микросекунд при концентрации частиц в канале 10^{18} - 10^{20} см⁻³ и температурой 10^5 - 10^6 К.

Будет получены зависимости скорости радиационного сжатия от рода газа, окружающего канал разряда. Будет определены температуры в районе максимального сжатия. Получены значения плотности тока, проводимости плазмы. Построена модель разряда.

Исследована возможность достижения максимальных параметров плазмы в канале разряда, окруженного плотным газом.

Полученные экспериментальные данные и результаты теоретического анализа будут представлять несомненный интерес как с теоретической так и с практической точки зрения и соответствовать мировому уровню. Получение плотной плазмы экстремальных параметров имеет огромный интерес для получения интенсивных тепловых, радиационных, ударноволновых потоков энергии на вещество.

Физика мощных газовых разрядов высокого и сверхвысокого давления является составной частью физики высоких плотностей энергии и экстремальных состояний вещества. Мощный импульсный разряд широко используется в различных электрофизических устройствах с высокой плотностью энергии, и эффективен для создания высокоинтенсивных источников видимого и ультрафиолетового излучения, в генераторах высокоэнтальпийных плазменных струй, как лабораторная модель астрофизических объектов (например, для моделирования переноса энергии излучением из центра звезды к ее периферии, образования ударных волн и изменения их яркости при выходе на поверхность звезды и т.д.). Разряд в водороде и гелии высокой начальной плотности (начальных давлениях ~ 1 - 200 МПа) является наиболее перспективным для создания гиперскоростных ускорителей макротел.

2.6 Физические процессы при генерации низкотемпературной плазмы в плазмотронах переменного тока мощностью до 3,0 МВт при горении сильноточных дуг в дозвуковых и сверхзвуковых газовых потоках и приэлектродных явлениях, создание мощных генераторов низкотемпературной плазмы различного назначения, переработка органосодержащих материалов в интересах энергетики и плазмохимии

С увеличением мощности, срока службы, а также количества плазмообразующих сред используемых в плазмотронах (в том числе и одновременно), расширяется возможность их применения в химических технологиях. Наиболее перспективно применение плазмотронов для решения следующих задач:

- Проведение высоко эндотермических процессов (получение водорода из углеводородов и твердых топлив и биологических остатков)

Типичным высоко эндотермическим процессом является паровой риформинг метана. Применяя паровую плазму при риформинге метана, возможно получение высокой степени превращения и селективности (до 99 % и 95 % соответственно), что практически недостижимо при традиционных методах нагрева водяного пара.

- Осуществление реакций с высокой энергией активации (процессы с разрывом связей типа $N\equiv N$, $C=C$ в ароматических углеводородах, $C-F$ и т.д.)

К представителям данной группы, в первую очередь, следует отнести реакции с молекулярным азотом. В обеих реакциях лимитирующим элементарным актом является разрыв тройной связи $N\equiv N$.

- Применяя плазменные генераторы можно достичь относительно высоких температур, что вызовет ускорение основных химических реакций. Так наибольший эффект от повышения температуры отмечается при разложении малых количеств органических веществ (смол) в синтез-газе.

Кроме того, генератор плазмы отличается относительной компактностью по сравнению с традиционными устройствами нагрева газообразных сред (в первую очередь трубчатые печи), с сохранением высокого КПД для относительно малых и больших расходов газовых сред.

Использование плазмотронов в качестве одного из основных компонентов плазмохимического технологического процесса предъявляет к ним повышенные требования по удельному энергозатрату (мощности), надёжности, ресурсным характеристикам, эффективности (КПД), стоимости эксплуатации и квалификации и количеству обслуживающего персонала. В численном выражении это: мощность более 1

мегаватта. Срок эксплуатации плазмотрона не менее 5 лет, ресурс расходуемых элементов (электродов) более тысячи часов. КПД более 90 %. Конструкция плазмотрона должна позволять проводить все ремонтные и сервисные операции в течение одной рабочей смены.

Эксплуатируемые в настоящее время электродуговые плазмотроны постоянного тока имеют КПД не более 80% и практически не имеют возможности его дальнейшего повышения. Классическая линейная схема плазмотрона с короткой сильноточной дугой горящей между катодом и анодом внутри корпуса, по которой созданы эти плазмотроны, с точки зрения повышения КПД себя практически исчерпала.

Разрабатываемые в ИЭЭ РАН электродуговые плазмотроны имеют абсолютно иную идеологию, основанную на электрических дугах переменного тока большой длины, горящих от электрода до электрода в длинных цилиндрических каналах (длина дуги может достигать до 3 метров). Также одной из отличительных черт является то что, часть дуги вынесена за пределы корпуса плазмотрона. Длина внешнего участка дуги может достигать 50% от общей длины дугового столба. Предложенное техническое решение позволило существенно (до 95 %) увеличить коэффициент передачи энергии от электрической дуги к плазмообразующему газу и к перерабатываемым в плазмохимической установке материалам. Однако создание плазмотронов такого типа невозможно без глубоких фундаментальных исследований физических процессов протекающих при горении электрической дуги в объеме разрядной камеры, а также на внешнем участке электрической дуги, выходящей из длинного цилиндрического канала с одним типом течения газа в затопленное пространство, где существенно меняются процессы теплообмена. Необходимо проведение исследований процессов взаимодействия электрической дуги с потоком плазмообразующего газа и материалами элементов конструкции, изучение процессов эрозии электродного материала в области привязки электрической дуги.

2.7 Разработка и создание электромашинных маховичных накопителей энергии для стабилизации работы высоковольтных электрических сетей

В настоящее время в энергосистемах стабилизация напряжения обеспечивается с достаточно высокой скоростью за счет регулирования величины реактивной мощности генераторов и компенсаторов реактивной мощности. При этом быстродействующая стабилизация частоты энергосистемы обеспечивается за счет кинетической энергии генераторов электростанций, а последующая стабилизация частоты энергосистемы обеспечивается за счет регулирования активной мощности электростанций. Даже при максимально допустимом снижении частоты на 0,4 Гц энергосистемы могут за счет энергии маховых масс агрегатов генерировать сравнительно небольшое количество энергии. Так от энергосистемы Центра России можно получить примерно 2600 МДж. Основным методом обеспечения устойчивости энергосистем при значительном снижении частоты является использование автоматического ограничения снижения частоты (АОСЧ). АОСЧ осуществляет автоматический частотный ввод резерва при снижении частоты ниже минимально допустимых значений и автоматическую частотную разгрузку (АЧР) при снижении частоты ниже 49,0 Гц. АЧР осуществляется путем отключения потребителей и является крайне нежелательной. Предпочтительно обеспечить поддержание устойчивости и качества электроэнергии в энергосистеме за счет введения в энергосистему маховичных накопителей энергии.

Маховичный электрический генератор синхронного типа мощностью порядка сотен МВт в течение длительного времени использовался в сочетании с полупроводниковыми преобразователями для формирования импульса мощности в системах электропитания крупных физических установок. Такой генератор, будучи подключенным через преобразователь частоты к энергосистеме может за время порядка 0,2-0,5 с развить свою номинальную активную мощность и обеспечить стабилизацию частоты в энергосистеме на время, необходимое для ввода основных генерирующих мощностей энергосистемы или на время действия АЧР. Кроме того, преобразователь частоты в цепи статора синхронного генератора может работать в качестве статического компенсатора реактивной мощности в режиме как генерации, так и потребления реактивной мощности и обеспечивать стабилизацию напряжения в энергосистеме. Институт Электрофизики и электроэнергетики РАН имеет большой опыт по разработке и наладке совместно с заводом «Электросила» маховичных накопителей энергии для применения на установках токамак.

Развитие высоких технологий и широкое распространение на производстве и в быту вычислительных машин, выдвигает требование повышения качества электроэнергии и надежности сетей переменного тока. В последнее время участились крупные системные аварии такие, как аварии в энергосистеме Нью-Йорка (1965, 1997, 2003 годы), в энергосистеме Италии (2003 год), в энергосистеме Москвы (2005 год) и многие другие. Предотвращение таких аварий требует наличия резервных источников мощности, а также стабилизации напряжения и частоты в энергосистемах. Удачное решение многих проблем, возникающих при этом, обеспечивается при использовании маховичных генераторов переменного тока совместно с полупроводниковыми преобразователями частоты.

В результате реализации программы удастся предложить эффективные методы стабилизации работы высоковольтных электрических сетей, повышения качества электроэнергии и надежности мощных энергосистем переменного тока и во многих случаях предотвратить возникновение крупных системных аварий таких, как авария в энергосистеме Москвы 2005 года.

Предполагается провести исследование путей применения электромашинно-полупроводниковых маховичных накопителей энергии для обеспечения стабилизации работы высоковольтных электрических сетей и компенсации реактивной и активной мощности в мощных энергосистемах. Предложить эффективные методы повышения качества электроэнергии и надежности мощных энергосистем переменного тока. Разработать совместно с ОАО «Силовые машины» техническое предложение на электромашинно-полупроводниковый маховичный накопитель энергии для обеспечения компенсации реактивной и активной мощности в мощных энергосистемах. На основе этого технического предложения получить заказы от энергосистем на выпуск электромашинно-полупроводниковых маховичных накопителей энергии и внедрить эти накопители в энергосистемах.

В результате работы предполагается обеспечить эффективную стабилизацию работы высоковольтных электрических сетей, компенсации реактивной и активной мощности в мощных энергосистемах и повышение качества электроэнергии и надежности мощных энергосистем переменного тока. Обеспечить предотвращение крупных системных аварий таких, как авария в энергосистеме Москвы 2005 года.

Работу предполагается проводить в Институте электрофизики и электроэнергетики РАН. По договору предполагается привлечь ОАО «Силовые машины».

При проведении работы Институт электрофизики и электроэнергетики РАН осуществляет научное руководство работой, исследование и расчет режимов энергосистем и параметров проектируемого электрооборудование. ОАО «Силовые машины»

осуществляет под руководством Института электрофизики и электроэнергетики РАН разработку технического предложения на электромашинно-полупроводниковый маховичный накопитель энергии для обеспечения компенсации реактивной и активной мощности в мощных энергосистемах, проектирование и изготовление соответствующего оборудования.

3 Анализ тенденций, определение наиболее перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований, оценка научно-технического потенциала в области материаловедения, механики, прочности

В мировой экономике интенсифицировались процессы перехода к новому технологическому укладу, набирает силу новая глобальная «технологическая волна», основанная на конвергенции наук и технологий. XXI век привнес нарастающее значение развитию и использованию потенциала фундаментальной науки как стратегической составляющей научно-технологического развития общества и государства. Опережающее развитие фундаментальных научных исследований в обеспечение формирования научно-технологического задела межотраслевой направленности одна из ключевых задач государственной научно-технологической политики и, в мировой практике – обязательное условие осуществления крупных государственных и корпоративных проектов (программ) разработки нового поколения технологий и техники. При этом важным фактором снижения конкурентного давления является отбор для оказания государственной поддержки приоритетов и перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований, обеспечивающих условия формирования нового технологического уклада.

Решение ряда важных научно-технических проблем в области создания и использования новых материалов, процессов и технологий, образцов новой техники, определяющих уровень научно-технологического развития страны, является весьма актуальной комплексной задачей, решаемой как в мировых научных центрах, так и в целом ряде научных учреждений Петербурга, таких как Государственные научные центры РФ, академические институты, вузы, отраслевые и ведомственные НИИ. Исследования и разработки, проводимые в них, в области создания и применения новых конструкционных и функциональных материалов, включая наноматериалы, по ряду позиций соответствуют мировому уровню и даже превосходят его. На базе основных научных дисциплин - математики, физики, химии, машиноведения и науки о материалах развиты междисциплинарные исследования и разработки, обеспечивающие получение новых фундаментальных знаний в области конструкционной прочности, прикладной механики и наноструктурированных конструкционных и функциональных материалов. Полученные научные результаты реализуются в виде технических решений для ряда изделий различных отраслей промышленности страны и за рубежом. Междисциплинарный подход способствует успешному решению весьма сложных научно - технических проблем,

обеспечению надежности ответственных конструкций, в том числе, в экстремальных условиях. Это позволяет решать актуальные проблемы страны и региона, в частности, в области безопасности атомной энергетики, надежности ответственных конструкций, оснащения предприятий города новейшей технологией, развития инфраструктуры городского хозяйства, подготовки научных кадров, создания новых производств, обеспечивающих выход на формирующиеся высокотехнологичные рынки.

Задача аналитических исследований этапа 2014 года: разработка аналитических материалов, содержащих анализ тенденций развития фундаментальной науки в мире и России в комплексной мультидисциплинарной области, включающей проблемы материаловедения, механики, прочности; составление по ним перечня наиболее перспективных направлений развития фундаментальной науки в этой области; изучение научно-технического потенциала Петербурга с точки зрения тенденций и перспектив развития фундаментальных исследований в ракурсе мировых трендов. Полученные результаты на последующих этапах работ (2015 – 2016 гг.) будут использованы при обосновании и разработке федерально-региональной научно-технической программы, направленной на развитие фундаментальных научных исследований мирового уровня в обеспечение развития высокотехнологичных отраслей экономики Петербурга.

Разработка аналитических материалов, включающих определение наиболее перспективных направлений научных исследований, которые могут проводиться в научных учреждениях Петербурга, осуществлялась на базе Объединенного научного совета по проблемам материаловедения, механики, прочности при СПб НЦ РАН в соответствии с темой 82.1. Государственного задания СПб НЦ РАН на 2014 – 2016 гг., согласно техническому заданию, рабочей группой высококвалифицированных специалистов. Подготовленные рабочей группой Совета аналитические материалы, включающие предложения в перечень перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований, неоднократно обсуждались на заседаниях структурных подразделений Совета и расширенных заседаниях Бюро Совета.

В процессе работы проводились аналитические научные исследования перспектив развития фундаментальной науки в области материаловедения, механики, прочности по актуальным междисциплинарным направлениям: конструкционная прочность и механика разрушения, экстремальные состояния материалов и конструкций, структурные превращения в сплошных средах искусственного и природного происхождения, наноматериалы конструкционного назначения, механохимические технологии, прикладная механика и машиностроение, в обеспечение реализации конкурентных

преимуществ региона как для подъема традиционных секторов, так и для прорыва на рынке высоких технологий.

По результатам проведенных аналитических исследований в работе дан анализ современного состояния и тенденции развития фундаментальных научных исследований в комплексной, охватывающей проблемы материаловедения, механики, прочности области, рассмотрены ведущие научные центры в мире и России, представлены направления фундаментальных научных исследований, соответствующих глобальным научно-технологическим приоритетам, проводимым в них.

Выделены наиболее перспективные и приоритетные направления развития фундаментальных научных исследований на среднесрочную (до 2020 года) перспективу, дана характеристика участия научных коллективов и научных организаций Петербурга в мировых трендах развития наиболее перспективных направлений фундаментальных научных исследований, представлены возможные направления использования наиболее перспективных направлений для развития наукоемких отраслей экономики Петербурга, сформирован Перечень наиболее перспективных направлений развития фундаментальных исследований на среднесрочную перспективу.

Проведенный анализ тенденций мирового развития диктует необходимость опережающего развития отдельных перспективных направлений научных исследований, приведенных в Перечне.

В данном отчете представлены подробные результаты подготовки аналитических материалов в области материаловедения, механики, прочности. При подготовке материалов было использовано более 154 информационных источников.

Экспертная база Объединенного Совета охватывает более 40 организаций и свыше 100 ведущих ученых северо-запада – членов Объединенного научного совета по проблемам материаловедения, механики, прочности при СПб НЦ РАН, включая представителей ГНЦ, академических институтов, вузов, ведомственных НИИ.

3.1 Конструкционная прочность и механика разрушения

В материалах раздела на основании проведенных аналитических исследований представлены наиболее перспективные направления развития фундаментальных исследований в области конструкционной прочности и механики разрушения, ориентированные на практическое внедрение в области атомной энергетики.

Кроме того обобщены, проанализированы и представлены сведения о действующих научных школах, квалификация кадров, задействованных в реализации исследований по выбранным перспективным направлениям, опыте участия в международных исследовательских проектах и материально-технической базе (исследовательском и экспериментальном оборудовании), используемой для исследований по выбранным перспективным направлениям.

3.1.1 Современное состояние и тенденции развития фундаментальных научных исследований в области конструкционной прочности и механики разрушения

Современное развитие механики разрушения, физики прочности, микро - и наноструктурных исследований механизмов деградации и разрушения конструкционных материалов, а также методов расчета физических, тепловых и механических полей позволяет выйти на новый уровень постановки и решения комплексных задач в области конструкционной прочности - задач, лежащих на стыке разных научных дисциплин.

Наиболее актуальны такие междисциплинарные исследования применительно к атомной энергетике, развитие которой в целом определяет промышленный потенциал страны. В отличие от большинства конструкций, для которых свойства материалов слабо изменяются со временем, конструкционные материалы атомных реакторов сильно деградируют под воздействием длительного нейтронного облучения, повышенных температур, электромагнитного излучения и агрессивных сред.

Традиционные подходы к созданию конструкционных материалов базируются, как известно, на двух постулатах: во-первых, на требовании обеспечить заданные «исходные» свойства материала в соответствии с проектной конструкторской документацией; во-вторых, на допущении, что эти заданные свойства не изменяются в процессе эксплуатации конструкции. Такой подход позволяет (при соответствующей материаловедческой и технологической проработке) совершенствовать известные и создавать новые конструкционные материалы, удовлетворяющие возрастающим требованиям конструкторских разработок.

Вместе с тем, такой традиционный подход в материаловедении является явно недостаточным для ответственных конструкций, работающих в экстремальных условиях, к которым относятся не только атомная энергетика, но и космическая, ракетная техника и другие. Для конструкционных материалов, используемых в таких ответственных конструкциях, требуется не только обеспечить заданные «исходные» свойства материала, но и учесть их изменения, вызванные деградацией материала в процессе эксплуатации [1-4].

Иными словами, ключевой информацией для расчетов целостности, работоспособности и ресурса элементов конструкций различного ответственного назначения являются характеристики прочности и долговечности конструкционных материалов. С точки зрения обеспечения безопасности ответственных конструкций и снижения риска техногенных катастроф главной задачей механики и физики конструкционных материалов является адекватное прогнозирование их расчетных характеристик. В настоящее время решение этой проблемы традиционными способами для современных конструкционных материалов, используемых в ответственных конструкциях, работающих в экстремальных условиях, признано явно недостаточным.

Это связано с несколькими обстоятельствами, среди которых следует отметить, прежде всего, создание и использование для элементов конструкций ответственного назначения новых конструкционных материалов с разным уровнем структурной дисперсности и гомогенности, включая структурно-гетерогенные материалы с ультрадисперсной и наноструктурой, а также необходимость прогнозирования расчетных характеристик материала с учетом их изменения при эксплуатационных воздействиях, таких, например, как нейтронное облучение и термическое старение.

Современные подходы к прогнозированию расчетных характеристик конструкционных материалов базируются на формулировках локальных критериев разрушения материала на основе физических механизмов разрушения, на моделировании процессов деформирования и разрушения на нано-, мезо- и макро-уровнях, на связи физических механизмов повреждения, таких как зарождение и рост микронесплошностей, со структурными параметрами материала [5-7].

3.1.2 Ведущие научные центры в этой области в мире и России и характеристика направлений фундаментальных научных исследований, соответствующих глобальным научно-технологическим приоритетам, проводимым в них

Среди ведущих ориентированных на атомную энергетику мировых научных центров в области научных исследований конструкционной прочности и механики разрушения следует выделить в первую очередь:

- [Électricité de France \(EDF\)](#), крупнейшую государственную энергогенерирующую компанию [Франции](#) и крупнейшую в мире компанию-оператора [атомных электростанций](#);
- Commissariat à l'énergie atomique (CEA) - комиссариат атомной энергии, французский научно-исследовательский институт, основной задачей которого является разработка всех видов использования атомной энергетики;
- Центр ядерных исследований Бельгии SCK/CEN (Studiecentrum voor Kernenergie / Centre d'Étude de l'énergie Nucléaire);
- AREVA S.A., французская компания, занимающаяся разработкой и производством оборудования для атомной энергетики и производства электроэнергии из альтернативных источников;
- VTT Technical Research Centre of Finland – крупнейший в северной Европе центр научно-технических исследований;
- NRI Rez – чешский институт ядерных исследований г. Ржеж.

В России одну из ведущих позиций в области конструкционной прочности и механики разрушения занимает ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей». Направление «Материалы и вопросы безопасности энергетических установок» ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» обеспечивает разработку новых конструкционных материалов (основных и сварочных), включая технологию их производства и контроля, в соответствии с Программой развития атомной отрасли:

- [для корпусов водо-водяных атомных реакторов](#) АЭУ повышенной единичной мощности и длительного срока службы, а также для корпусов реакторов нового поколения,
- [для перспективных реакторов и парогенераторов с теплоносителем натрия](#) повышенной единичной мощности и длительным сроком службы АЭС с реакторами БН-800, БН-1200;
- [для перспективных реакторов с теплоносителем свинец или свинец-висмут](#) для новых АЭС с реакторами типа БРЕСТ и СВБР-100;
- для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов типа ВГ 400 и газовых реакторов применительно к космической технике;

- для изготовления чехлов тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) атомных энергетических установок

3.1.3 Выделение наиболее перспективных и приоритетных направлений развития фундаментальных научных исследований на среднесрочную перспективу до 2020 года (мировые тренды) и далее до 2025 года

В настоящее время можно выделить следующие наиболее перспективные и приоритетные направления развития фундаментальных научных исследований:

- междисциплинарные исследования в области физики прочности и механики разрушения конструкционных материалов, формулировка на их основе критериев прочности и работоспособности элементов атомных реакторов различного типа, работающих в экстремальных условиях воздействия тепловых и нейтронных полей, жесткого электромагнитного излучения и агрессивных сред;
- разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с заданными свойствами с учетом механизмов их повреждения и деградации при сверхвысоких дозах облучения для внутрикорпусных устройств (ВКУ) и оболочек твэлов перспективных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями;
- разработка методов расчета прочности материалов и ресурса оборудования арктических шельфовых и глубоководных конструкций для освоения углеводородных месторождений шельфа России и оборудования для производства и транспортировки сжиженных газов.

3.1.3.1 Аргументы по выделению наиболее перспективных и приоритетных направлений

Как уже отмечалось выше, направление междисциплинарных исследований в области физики прочности и механики разрушения конструкционных материалов, формулировки на их основе критериев прочности и работоспособности элементов атомных реакторов различного типа является наиболее актуальным и приоритетным в связи со следующими обстоятельствами. Обеспечение безопасности АЭС и снижение риска техногенных катастроф определяет главную задачу механики и физики конструкционных материалов - адекватное прогнозирование расчетных характеристик прочности, изменяющихся при эксплуатационных воздействиях. Постановка и реализация междисциплинарных исследований позволит успешно решать наиболее острые проблемы

в области конструкционной прочности оборудования АЭС с традиционными и перспективными реакторами.

Другим актуальным и перспективным направлением является разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с заданными свойствами с учетом механизмов их повреждения и деградации при сверхвысоких дозах облучения для ВКУ и твэлов. Эта новая для классического материаловедения задача может быть поставлена и решена только при комплексном подходе совместными усилиями специалистов в области прочности, физики металлов, материаловедения, технологии производства конструкционных материалов, а также специалистов конструкторских институтов. Разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с учетом механизмов их повреждения и деградации позволит, прежде всего, успешно решить острые проблемы в области создания новых материалов для атомной энергетики, в первую очередь, материалов для ВКУ и оболочек твэлов для традиционных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным и натриевым теплоносителями [8-12]. Создание конструкционных материалов с учетом механизмов их повреждения и деградации позволит также решить насущную проблему реализации проектов перспективных реакторов с жидкометаллическими теплоносителями (свинец, свинец-висмут), что в настоящее время является практически неразрешимой проблемой именно в виду отсутствия требуемых материалов.

Очевидно также, что разработанные инновационные принципы создания конструкционных материалов не только на основе прямой связи «проектная конструкция – исходный материал», но и с учетом обратной связи «материал в процессе эксплуатации – ресурс конструкции» будут широко востребованы и в других передовых технологиях.

Говоря об актуальности разработки методов расчета прочности материалов и ресурса оборудования арктических шельфовых и глубоководных конструкций, необходимо отметить следующее. Инженерные подходы, используемые в методах расчета прочности, работоспособности и ресурса указанного оборудования, используют в основном подходы, разработанные для неструктурированной сплошной среды в рамках механики деформируемого твердого тела и механики разрушения. Эти инженерные подходы хорошо проверены в практике расчетов для традиционных конструкционных материалов, которые могут быть адекватно схематизированы в виде бесструктурного континуума. Однако в настоящее время наблюдается существенный прогресс в области создания конструкционных материалов с разным уровнем структурной дисперсности и гомогенности, включая структурно-гетерогенные материалы с ультрадисперсной и наноструктурой. Методы прогнозирования прочности и долговечности таких

конструкционных материалов практически не развиты и, соответственно, инженерные методы расчета прочности изготовленного из таких материалов оборудования могут быть неадекватны и требуют уточнения.

Вместе с тем, задачи механики деформируемого твердого тела и механики разрушения для структурированного континуума вполне успешно решены и решаются в рамках глобального и локального подходов в механике кристаллических твердых тел. Таким образом, наблюдается разрыв между академическими подходами и инженерными приложениями, - разрыв, который может и должен быть сокращен, что даст импульс развития как академической школы, так прикладных направлений. Сформулированное выше приоритетное направление призвано сократить этот разрыв между академическими подходами и инженерными методами расчета прочности и ресурса оборудования арктического и глубоководных исполнения и оборудования для производства и транспортировки сжиженных газов.

3.1.4 Характеристика участия научных коллективов и научных организаций Петербурга в мировых трендах развития наиболее перспективных направлений фундаментальных научных исследований

3.1.4.1 Перечень наиболее перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований с учетом их развития в научных учреждениях Петербурга

Как показано выше, наиболее перспективными направлениями развития фундаментальных научных исследований, которые могут быть реализованы силами коллектива направления «Материалы и вопросы безопасности энергетических установок» ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» являются:

- физика прочности и механика разрушения конструкционных материалов; критерии прочности и работоспособности элементов атомных реакторов различного типа, работающих в экстремальных условиях воздействия тепловых и нейтронных полей, жесткого электромагнитного излучения и агрессивных сред;
- инновационные принципы создания конструкционных материалов с заданными свойствами с учетом механизмов их повреждения и деградации при сверхвысоких дозах облучения для внутрикорпусных устройств и оболочек твэлов перспективных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями.

3.1.5 Выявление и характеристика центров превосходства по наиболее перспективным направлениям развития научных исследований в Петербурге

Целесообразность проведения теоретических, расчетных и экспериментальных исследований в указанных выше направлениях в Петербурге, в том числе, специалистами ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», обусловлена как их лидирующим положением среди европейских коллективов и специалистов, работающих в данной области, так и теми обстоятельствами, что данные исследования являются фундаментальной основой для обеспечения безопасности различных ответственных конструкций, работающих в экстремальных условиях, и снижения риска техногенных катастроф.

3.1.5.1 Приоритетные (прорывные) и перспективные направления исследований

В настоящее время можно выделить следующие наиболее перспективные и приоритетные направления развития фундаментальных научных исследований:

- междисциплинарные исследования в области физики прочности и механики разрушения конструкционных материалов, формулировка на их основе критериев прочности и работоспособности элементов атомных реакторов различного типа, работающих в экстремальных условиях воздействия тепловых и нейтронных полей, жесткого электромагнитного излучения и агрессивных сред;

- разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с заданными свойствами с учетом механизмов их повреждения и деградации при сверхвысоких дозах облучения для внутрикорпусных устройств (ВКУ) и оболочек твэлов перспективных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями;

- разработка методов расчета прочности материалов и ресурса оборудования арктических шельфовых и глубоководных конструкций для освоения углеводородных месторождений шельфа России и оборудования для производства и транспортировки сжиженных газов.

3.1.5.2 Наличие в них признанных научных школ и их краткая характеристика

Ведущими учеными ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» созданы и активно функционируют 3 научные школы, известные и признанные в России и за её пределами. В декабре 2013 г. они включены в реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга. Одной из этих школ является научная школа «Фундаментальные и научно-прикладные работы по созданию перспективных конструкционных материалов

(сталей, никелевых и титановых сплавов) для оборудования атомной энергетики, работающего в экстремальных условиях»[13].

3.1.5.3 Квалификация кадров

На базе направления «Материалы и вопросы безопасности энергетических установок» в течение последних лет была создана междисциплинарная рабочая группа, состоящая из специалистов целого ряда смежных научных направлений. Коллектив этой рабочей группы высоко зарекомендовал себя при выполнении работ как по внутрироссийским проектам под эгидой ОАО «Концерн Росэнергоатом», так и по международным проектам МАГАТЭ, программ TACIS, TAREG и др. Ниже в таблице приведены краткие сведения о квалификации членов этой рабочей группы.

Таблица 3.1.1 – Сведения о квалификации членов рабочей группы

| № п/п | ФИО | г.р. | Должность | Ученое звание | Ученая степень |
|-------|--------------------------------|------|---|---------------|----------------|
| 1 | Карзов Георгий Павлович | 1938 | Начальник научно-производственного комплекса, зам. генерального директора | проф. | д.т.н. |
| 2 | Марголин Борис Захарович | 1956 | Начальник лаборатории, зам. начальника научно-производственного комплекса | проф. | д.т.н. |
| 3 | Теплухина Ирина Владимировна | 1961 | Начальник сектора | доцент | к.т.н. |
| 4 | Петров Сергей Николаевич | 1960 | Начальник сектора | нет | к.хим.н. |
| 5 | Гуленко Александр Георгиевич | 1956 | ведущий научный сотрудник | нет | к.т.н. |
| 6 | Костылев Виктор Иванович | 1957 | ведущий научный сотрудник | с.н.с. | к.т.н. |
| 7 | Федорова Валентина Анатольевна | 1948 | ведущий научный сотрудник | с.н.с. | к.т.н. |
| 8 | Швецова Виктория Александровна | 1952 | ведущий научный сотрудник | с.н.с. | к.ф.-м.н. |
| 9 | Бучатский Андрей Александрович | 1981 | старший научный сотрудник | нет | к.т.н. |
| 10 | Минкин Андрей Иосифович | 1977 | ведущий инженер | нет | нет |
| 11 | Сорокин Александр Андреевич | 1984 | ведущий инженер | нет | нет |
| 12 | Фоменко Валентин Николаевич | 1979 | ведущий инженер | нет | нет |
| 13 | Юрченко Елена Владимировна | 1970 | ведущий инженер | нет | нет |
| 14 | Мурашова Анна Игоревна | 1984 | инженер II категории | нет | нет |
| 15 | Морозов Анатолий Михайлович | 1945 | Начальник сектора | нет | к.т.н. |
| 16 | Пирогова Наталья Евгеньевна | 1974 | ведущий инженер | нет | нет |
| 17 | Потапова Вера Альбертовна | 1959 | ведущий инженер | нет | нет |
| 18 | Варовин Андрей Яковлевич | 1956 | начальник сектора | нет | к.т.н. |

3.1.5.4 Публикационная активность и цитируемость

Публикационная активность и цитируемость членов междисциплинарной рабочей группы, указанной в п.5.3, в базах данных Scopus, «Сеть науки» (Web of Science), РИНЦ (eLIBRARY.ru) на 2014 год приведена в нижеследующей таблице.

Таблица 3.1.2. Публикационная активность и цитируемость членов междисциплинарной рабочей группы

| №п/п | Фамилия Имя Отчество | База данных Scopus | | | База данных Web of Science | | | База данных РИНЦ | | |
|------|--------------------------------|--|---|---------------------------|--|---|---------------------------|--|---|---------------------------|
| | | Число публикаций за 5 предшествующих лет | Число цитирований за 5 предшествующих лет | Индекс Хирша ¹ | Число публикаций за 5 предшествующих лет | Число цитирований за 5 предшествующих лет | Индекс Хирша ² | Число публикаций за 5 предшествующих лет | Число цитирований за 5 предшествующих лет | Индекс Хирша ³ |
| 1 | Карзов Георгий Павлович | 5 | 75 | 8 | 2 | - | 2 | 45 | 209 | 8 |
| 2 | Марголин Борис Захарович | 40 | 36 | 13 | 31 | 18 | 4 | 60 | 171 | 15 |
| 3 | Теплухина Ирина Владимировна | 2 | - | - | 1 | - | - | 21 | 14 | 2 |
| 4 | Петров Сергей Николаевич | 7 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 17 | 36 | 3 |
| 5 | Гуленко Александр Георгиевич | 13 | 7 | 9 | 4 | 2 | 4 | 15 | 77 | 10 |
| 6 | Костылев Виктор Иванович | 4 | 2 | 8 | 3 | 2 | 2 | 6 | 65 | 8 |
| 7 | Федорова Валентина Анатольевна | 5 | - | 1 | 4 | - | 1 | 7 | 35 | 4 |
| 8 | Швецова Виктория Александровна | 6 | 7 | 11 | 6 | 4 | 3 | 7 | 80 | 11 |
| 9 | Бучатский Андрей Александрович | 2 | - | 2 | 2 | - | 1 | 4 | 19 | 3 |
| 10 | Минкин Андрей Иосифович | - | - | 3 | 2 | - | - | 3 | 22 | 4 |
| 11 | Сорокин Александр Андреевич | 11 | 11 | 2 | 8 | 6 | 2 | 19 | 33 | 5 |
| 12 | Фоменко Валентин Николаевич | 7 | 7 | 2 | 4 | 2 | 1 | 8 | 16 | 3 |
| 13 | Юрченко Елена Владимировна | 6 | 13 | 2 | 5 | 4 | 2 | 13 | 23 | 2 |
| 14 | Мурашова Анна Игоревна | 1 | - | - | 1 | - | - | 5 | 2 | 1 |
| 15 | Морозов Анатолий Михайлович | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 20 | 2 |
| 16 | Пирогова Наталья Евгеньевна | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 17 | Потапова Вера Альбертовна | 2 | - | 1 | - | - | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 18 | Варовин Андрей Яковлевич | - | - | 1 | - | - | - | 2 | 3 | 1 |

¹Рассчитывается на основе всех публикаций

²Рассчитывается на основе всех публикаций

³ Рассчитывается на основе всех публикаций.

3.1.5.5 Участие в грантовом и программном финансировании, в том числе и международном

- FALSIRE-II «Расчеты полей напряжений и деформаций для полномасштабных моделей корпусов реакторов» (совместно со специалистами Германии и США).
- ICAS «Расчеты полей напряжений и деформаций в корпусах реакторов» (совместно со специалистами Франции).
- TACIS R2.06/96 «Разработка методов прогнозирования вязкости разрушения материалов корпусов реакторов ВВЭР-1000» (совместно со специалистами BELGATOM, Бельгия).

- VOKALIST «Аттестация методологии комплексных оценок конструкционной прочности».
- NESK-IV «Исследование переносимости подхода Мастер-кривой на короткие трещины применительно к корпусу реактора».
- AMES «Старение материалов: европейская стратегия» (совместно с EUROATOM FP5).
- TAREG 2.01/03 «Оценка радиационного охрупчивания, обоснование моделей охрупчивания корпусов реакторов типа ВВЭР» (совместно со специалистами Германии).
- EUROATOM FP6 PERFECT «Прогнозирование влияния облучения на элементы реактора».
- TACIS R2.01/02 «Влияние нейтронного облучения на свойства материалов ВКУ ВВЭР-1000» (проект по эгидой ЕС, совместно со специалистами Испании).
- ISTC 3072 «Моделирование хрупкого и вязкого разрушения, прогнозирование влияния радиационного повреждения на трещиностойкость сталей корпусов реакторов на основе локального подхода» (под эгидой ЕС).
- ISTC 3973 «Прогнозирование характеристик разрушения облученных аустенитных и ферритных сталей для элементов реакторов атомных электростанций на основе многомасштабного подхода» (под эгидой ЕС).
- EUROATOM FP7 PERFORM 60 (Prediction of the Effects of Radiation for Reactors Pressure Vessel and In-Core Materials Using Multi-Scale Modeling – 60 Years Foreseen Plant Lifetime).
- EURATOM FP7 LONGLIFE (Treatment of Long Term Irradiation Embrittlement Effects in RPV Safety Assessment).

3.1.5.6 Наличие высокотехнологичной инфраструктурной базы исследований и разработок

Междисциплинарная рабочая группа на базе ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» обладает следующими высокотехнологичными инфраструктурными научными объектами, комплексами, дорогостоящим и/или уникальным научным оборудованием, опытно-экспериментальным производством для реализации исследований по вышеуказанным приоритетным направлениям, таблица 3.1.3.

Таблица 3.1.3. Характеристика уникального оборудования

| № п/п | Наименование оборудования | Тип | Изготовитель | Год изгот. | Виды работ, обеспечиваемые данным оборудованием |
|-------|--|--------------------------------|------------------------|------------|--|
| 1 | Растровый двулучевой электронно-ионный микроскоп с аналитической системой Pe-gasus | Quanta 200 3D FEG | США, FEI | 2007 | Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии, предварительное исследование микроструктуры облученных образцов |
| 2 | Микроскоп растровый электронный с рентгеновским спектрометром Oxford Instruments | Vega II | Чехия, Tescan | 2009 | Предварительное исследование микроструктуры облученных образцов |
| 3 | Установка электролитического травления/полировки | TenuPol-5 | Дания, Struers | 2008 | Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии |
| 4 | Установка электролитического травления/полировки | LectroPol-5 | Дания, Struers | 2009 | Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии |
| 5 | Установка для ионного утонения образцов для просвечивающей микроскопии | 1010 Ion Mill | США, Fishione | 2007 | Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии |
| 6 | Микроскоп просвечивающий электронный | Tecnai G2 30F S-TWIN STEM | США, FEI | 2007 | Исследование микроструктуры облученных образцов |
| 7 | Микроскоп просвечивающий электронный | JEM-200CX | Япония, Jeol | 1985 | Исследование микроструктуры облученных образцов |
| 8 | Внутрикамерный стенд для изготовления образцов из облученного материала | APTA 420 | РФ, Делта-Тест | 2011 | Изготовление образцов различной конфигурации из облученного металла |
| 9 | Внутрикамерный стенд для проведения стандартных испытаний на растяжение. | Zwick Z50, EC2133 | Германия, Zwick/Roell, | 2010 | Определение кратковременных свойств облученных образцов: предела текучести, предела прочности, критического напряжения разрушения, относительного удлинение и сужения материалов |
| 10 | Внутрикамерный стенд для проведения ударных испытаний | KM 300, KM 50 | СССР, НПО Точприбор | 1989 | Определение ударной вязкости облученных образцов |
| 11 | Внутрикамерный стенд для проведения испытаний на статическую трещиностойкость | Zwick Z50, EC2133 | Германия, Zwick/Roell | 2010 | Определение статической трещиностойкости облученных образцов в терминах J_C и построение J_R -кривых |
| 12 | Внутрикамерный стенд для проведения испытаний на усталость | SCHENCK PSB-100C, Instron 3110 | Германия, Schenk | 1994 | Построение усталостных кривых и определение скорости роста усталостных трещин для облученных образцов |

| № п/п | Наименование оборудования | Тип | Изготовитель | Год изгот. | Виды работ, обеспечиваемые данным оборудованием |
|-------|--|---|-----------------------------|------------|--|
| 13 | Внутрикамерный стенд для определения радиационного распухания | AB120-01 | РФ, ОКБ «Веста» | 2005 | Определение радиационного распухания облученных образцов |
| 14 | Внутрикамерный стенд для проведения коррозионно-механических испытаний | | РФ, ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» | 1996 | Проведение коррозионно-механических испытаний облученных образцов при статической нагрузке и в условиях медленного деформирования в инертных средах и в воде высоких параметров, имитирующей теплоноситель первого контура реакторов типа ВВЭР |
| 15 | Внутрикамерный стенд для фазовых фрактографических и металлографических исследований | оптический микроскоп МИМ 15 | РФ, ЛОМО | 1994 | Исследование микроструктуры облученных образцов |
| | | электронный сканирующий микроскоп ТМ 3000 | Япония, Hitachi | 2012 | Проведение фрактографических исследований поверхности разрушения облученных образцов |
| | | ферритометр МФ511 | РФ, ООО «АКА-контроль» | 2013 | Проведение исследований фазовых превращений облученных образцов |
| 16 | Универсальная испытательная сервогидравлическая машина | STM-10 | Украина, КБ им. Антонова | 1999 | Проведение испытаний для определения механических характеристик, характеристик сопротивления усталости и статической трещиностойкости. |
| 17 | Высокочастотный магнитно-резонансный пульсатор | HFP-5100 | Германия, Zwick/Roell | 2006 | Проведение испытаний для определения характеристик сопротивления усталости и подготовка образцов (создание усталостной трещины) для определения статической трещиностойкости |
| 18 | Электромеханическая испытательная машина | Z-010 | Германия, Zwick/Roell | 2006 | Проведение испытаний для определения механических характеристик и статической трещиностойкости. |
| 19 | Высокочастотная сервогидравлическая испытательная установка | MaKron | Индия, BISS | 2012 | Проведение испытаний для определения механических характеристик, характеристик сопротивления усталости и статической трещиностойкости. |

3.1.6 Возможности и направления использования наиболее перспективных направлений для развития наукоемких отраслей экономики Петербурга

ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» является крупнейшим межотраслевым материаловедческим центром страны, признанным лидером в области разработки принципиально новых, имеющих общегосударственное значение перспективных материалов и технологий, обеспечивающих решение задач научно-технического развития промышленности и сохранение обороноспособности государства.

В течение многих лет ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» ведёт научно-исследовательские, опытно-конструкторские и опытно-технологические работы по Федеральным целевым программам: «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России», «Научные и научно-педагогические кадры», «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации», «Национальная технологическая база», «Развитие гражданской морской техники», и др.

Выбранные перспективные направления открывают возможности для тесного взаимодействия как с производственными, так и с научными и научно-образовательными организациями. К числу первых относятся судостроительные, энергетические, машиностроительные и металлургические предприятия, такие как ОАО «Судостроительный завод «Северная верфь», ОАО «Балтийский завод», ОАО «Адмиралтейские верфи», ОАО «Средне-Невский судостроительный завод», ОАО «Пролетарский завод», ОАО «Ижорские заводы», проектные организации, такие как ОАО ЦМКБ «Алмаз», ОАО ЦКБ «Рубин», «Невское ПКБ», «Северное ПКБ», ЗАО «Диаконт». Взаимодействие с научно-образовательными организациями реализуется, в частности, посредством научно-образовательных центров «Новые материалы и современные технологии их получения» и «Конструкционные и функциональные материалы», взаимодействующих с СПбГМТУ, СПбГПУ, СЗГЗТУ.

Выводы

Выполнен краткий анализ современного состояния и тенденций развития фундаментальных научных исследований в области конструкционной прочности и механики разрушения. В этой области определены наиболее перспективные и приоритетные направления развития фундаментальных научных исследований на среднесрочную перспективу до 2020 года и далее до 2025 года:

1. Междисциплинарные исследования в области физики прочности и механики разрушения конструкционных материалов, формулировка на их основе критериев

прочности и работоспособности элементов атомных реакторов различного типа, работающих в экстремальных условиях воздействия тепловых и нейтронных полей, жесткого электромагнитного излучения и агрессивных сред.

2. Разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с заданными свойствами с учетом механизмов их повреждения и деградации при сверхвысоких дозах облучения для внутрикорпусных устройств (ВКУ) и оболочек твэлов перспективных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями.

3.2 Экстремальные состояния материалов и конструкций. Структурные превращения в сплошных средах

В настоящее время в фундаментальной науке и в наукоёмких отраслях производства большее внимание уделяется изучению процессов, в которых различные материалы и сплошные среды подвергаются экстремальным воздействиям различной природы. Основной трудностью при изучении такого рода процессов является их скоротечность. Не всегда удаётся понять механизм протекания медленных стационарных процессов, не говоря уже об исследовании высокоскоростных динамических процессов. Можно выделить несколько *основных научно-технических направлений*, в которых необходимо изучение различных нестационарных физических или химических процессов:

- 1) Разрушение, деформирование, структурные переходы в сплошных средах, вызванные высокоскоростным динамическим воздействием;
- 2) Образование новых структур, материалов в результате действия ударных динамических нагрузок;
- 3) Цепные автокаталитические реакции, протекающие в малый промежуток времени, например, процессы горения, тепловой взрыв и т.д.

Уровень современных технологий требует надежного прогнозирования поведения сплошных сред и конструкционных материалов при экстремальных воздействиях. При этом возникает множество трудностей в виду того, что большинство существующих методов тестирования материалов имеют квазистатическую природу и не позволяют адекватно оценивать воздействие экстремальных динамических нагрузок на материал. Большинство действующих нормативов и стандартов, по которым производятся расчёты сроков службы различных технологических сооружений, также разработаны на основе квазистатических критериев. Это приводит к несоответствию между прогнозируемым поведением конструкционных материалов в процессе эксплуатации и реально наблюдаемой ситуацией. Часто эту проблему пытаются решить увеличением коэффициента запаса прочности. Такой способ решения проблемы приводит к повышению расхода материалов и стоимости сооружения, но при этом реакция материала конструкции на экстремальные воздействия остаётся непредсказуемой. Всё это указывает на то, что для развития современных промышленных технологий необходима разработка новых стандартов и методик тестирования материалов, учитывающая специфику динамического поведения сплошных сред. Поэтому изучение процессов, возникающих в сплошных средах при экстремальных динамических условиях, имеет большое значение,

как для академической науки, так и для развития современных промышленных технологий.

3.2.1 Перспективные направления развития фундаментальных научных исследований в области экстремального состояния сплошных сред

В настоящее время одной из важнейших научно-прикладных задач является поиск и создание новых конструкционных материалов, которые в период эксплуатации могут испытывать динамические нагрузки высокой интенсивности. Уже давно замечено, что некоторые материалы, выдерживающие огромные статические или медленные нагрузки, могут разрушаться даже при не очень значительных, но быстрых ударах, в то время как другие материалы, не слишком прочные при медленных нагрузках, проявляют «чудеса стойкости» по отношению к воздействиям ударно-взрывного типа. Чем определяется прочность материала или конструкции в данных условиях? Как правильно выбрать материал, соответствующий температурно-скоростному режиму его эксплуатации? Можно ли создать конструкционный материал, который будет выдерживать значительные нагрузки в широком диапазоне температур и скоростей воздействия? Эти и другие проблемы повседневно приходится решать при разработке инновационных промышленных технологий. Опыт ведущих индустриальных стран свидетельствует, что создание современной техники требует тщательной научной проработки вопросов поведения конструкционных материалов при скоростных воздействиях.

Разрушение в результате интенсивного взаимодействия конструктивных элементов или воздействия внешней среды всё чаще признают наиболее серьёзным препятствием для работы самых разнообразных систем, в частности, в энергетике, на транспорте и военной технике. Так, на транспорте проблема повышения стойкости конструкционных материалов становится всё более актуальной в связи с постоянным стремлением повышать скорость движения транспортных средств. Изучение динамического разрушения помогает понять физическую природу выкрашивания железнодорожных рельсов [13], подшипников качения, зубчатых колёс и так далее.

При движении жидких и газообразных потоков в таких распространённых устройствах, как компрессоры, двигатели внутреннего сгорания, турбореактивные и реактивные двигатели, происходит эрозионное разрушение различных деталей. Особенно опасно разрушение сопловых устройств газовых эжекторов, используемых в авиационной и ракетной технике. Также подвергаются разрушению лопатки паровых и газовых турбин авиационных и ракетных жидкостных двигателей, которые работают при высоких температурах газовых потоков [14,15].

Даже при полёте самолёта сквозь полосу дождя может происходить заметное разрушение его деталей. Так капля воды диаметром 2 мм, движущаяся со скоростью 750 м/с, способна вызвать разрушение таких твёрдых материалов, как алмаз и карбид вольфрама, и пластическую деформацию высокопрочных сплавов, таких, как мартенситные стали. При более умеренных скоростях, например, около 200 м/с, одиночный удар может не вызывать каких-либо видимых изменений поверхности, но многократные удары приведут к опасному повреждению материала [16,17].

При движении ракеты та же капля воды сталкивается с поверхностью со скоростями 1000-8000 м/с. При таких скоростях даже одиночный удар капли вызывает, как правило, образование значительного кратера. На поверхности летательных аппаратов процесс возникновения таких кратеров может привести к исчезновению целых слоёв теплозащитного материала [18].

Тем не менее, разрушение имеет не только отрицательный эффект, но и применяется в различных технологических процессах, например, закономерности этого процесса активно используются при резании материалов, разработке нефтегазовых месторождений, добыче и обработке горных пород, драгоценных материалов [19-20].

Анализ фундаментальных научных исследований, выполненных в России и за рубежом в последние десятилетия, в области экстремальных состояний сплошных сред позволяет выделить *следующие перспективные направления*:

- Исследование закономерностей разрушения, деформирования, а также структурно-фазовых превращений в природных и конструкционных материалах при экстремальных, скоростных, термомеханических и физико-химических воздействиях техногенного и природного характера;
- Разработка новых критериев безопасности и принципов тестирования механических и физических свойств существующих и новых конструкционных материалов при экстремальных воздействиях; создание фундаментальных основ для развития современной нормативной базы по прочности и износостойкости в различных отраслях индустрии;
- Создание фундаментальных основ для оптимизации технологических процессов и определения оптимальных режимов целенаправленного разрушения, фрагментации, измельчения природных и конструкционных материалов; разработка нетрадиционных способов обработки материалов, таких как импульсное, ультразвуковое и вибрационное резание, создание виброударных систем;

- Экспериментальные и теоретические исследования динамических процессов в сплошных средах под воздействием нагрузок немеханической природы: мощных электронных пучков, импульсных магнитных полей высокой интенсивности, электрического взрыва, лазерных импульсов; изучение свойств диэлектрических сред при интенсивных электрофизических воздействиях с высокими плотностями энергии;
- Прогнозирование предельно допустимых нагрузок на конструкционные материалы в транспортной сфере, в частности, применяемые при строительстве магистралей для высокоскоростного транспорта, например, материалы железнодорожной насыпи (эстакады) для высокоскоростных поездов, асфальтобетонное покрытие автомагистралей; исследование закономерностей и механизмов скоростного изнашивания поверхностей в трибологических системах;
- Создание новых конструкционных материалов с повышенными физико-механическими характеристиками за счет управления их гетерогенной структурой на нано - мезо- и макро- уровнях. Исследование взаимодействия различных масштабных уровней и их влияния на физико-механические свойства новых материалов при воздействиях как нормативного, так и экстремального характера;
- Исследование процессов структурных превращений и фазовых переходов в жидких средах при интенсивном импульсном и вибрационном воздействии; изучение свойств особых, в том числе метастабильных и сверхкритических, состояний различных жидкостей, а также разработка технологических методов реализации и управления данными состояниями;
- Разработка методов исследования реакционной опасности химических процессов. Создание методик управления объектом, позволяющих избежать теплового взрыва, во время технологического процесса, хранения или транспортировки и т.д.; обеспечение термической безопасности реакционноопасных объектов путём математического моделирования, прогнозирования и оценки вероятности развития теплового взрыва;
- Разработка методик управления наноструктурой и свойствами функциональных и конструкционных материалов при различных статических и динамических воздействиях. Создание люминесцентных материалов, полученных по новым технологиям, которые могут использоваться в бескорпусной электронике;
- Создание современного, высокоэффективного и экологически безопасного производства по получению биодизельного топлива. Разработки и внедрение

новых технологий для интенсификации химико-технологических процессов и совершенствования мер по ресурсо- и энергосбережению при производстве биотоплива.

3.2.2 Современное состояние и тенденции развития фундаментальных научных исследований в области экстремальных состояний сплошных сред

Как показали исследования, проведенные в России и в ведущих зарубежных научных центрах, динамическое разрушение твердых тел характеризуется целым рядом принципиальных эффектов, которые не имеют объяснения в рамках традиционных схем [22]. Эти эффекты возникают при специальных условиях, соответствующих высокоинтенсивным процессам. Это, в частности, послужило одной из причин ряда крупнейших катастроф, произошедших в течение последних десятилетий (катастрофа космического корабля типа "ШАТТЛ" в США, ряд авиационных катастроф, катастрофы морских паромов и железнодорожные катастрофы в ряде стран западной и восточной Европы, Японии и т.п.).

Постановка и решение проблем внезапного лавинообразного разрушения является определяющим моментом в разработке критериев безопасности сложных технических систем. В частности, создание современных систем требует привлечения новых физико-математических моделей прочности имеющихся конструкционных материалов при экстремальных режимах высокоскоростного деформирования и сверхинтенсивного нагружения [23].

Систематическое изучение особенностей быстрого разрушения требует сложной высокоточной техники эксперимента и стало возможным лишь в последнее время. Этому посвящены важнейшие экспериментальные работы ряда отечественных и зарубежных ученых (Н.А.Златин, Г.С.Пугачев, В.С.Никифоровский, Е.И.Шемякин, В.Е. Фортов, Г.И.Канель, А.М. Брагов, Ю.В.Петров, J.F.Kalthoff, Н.Номма, W.G.Knauss, K. Ravi-Chandar, D.A.Shockey, J.W.Dally, J. Feinberg и др.).

Эксперименты показывают, что тестирование динамических прочностных свойств материала на основе принятых в квазистатике определяющих параметров весьма проблематично. Традиционные параметры трещиностойкости, являющиеся в статике константами материала, при динамическом нагружении проявляют весьма сложное поведение и зависят от физических и геометрических условий внешнего воздействия. Инженеры и конструкторы до сих пор не располагают надежной системой определяющих параметров, описывающих динамическую прочность и трещиностойкость конструкционных материалов. В основе моделей быстрого разрушения должны быть

критерии, отражающие структурно-временные особенности процесса. В то же время, содержащиеся в таких критериях тестовые характеристики материала должны иметь очевидный физический смысл и определяться для достаточно широкого класса процессов нагружения [24].

Широкое использование новых конструкционных материалов в экстремальных условиях и возникающие при этом новые динамические задачи обуславливают актуальность проблемы разработки методов математического моделирования, исследование и прогнозирования механического поведения материалов при интенсивных динамических нагрузках. Проблема обострилась в последнее время в связи с развитием эффективных технологий синтеза и обработки материалов на основе ударно-волновых воздействий. Это объясняется, с одной стороны, техническими трудностями исследования быстропротекающих процессов, а с другой, – невозможностью многократного воспроизведения их условий и высокой стоимостью натуральных экспериментов.

Несмотря на большое количество проводимых сейчас в этой области работ, продвижение по основным направлениям происходит весьма медленно. Это связано со значительными трудностями как в проведении экспериментов, требующих дорогостоящей точной аппаратуры, так и в построении математических моделей, связанных с большими объемами вычислений. Все еще ощущается нехватка экспериментальных данных, которые могли бы принципиально продвинуть понимание этого сложного процесса. С другой стороны, имеется настоятельная потребность в систематизации уже полученных экспериментальных результатов, объем которых стремительно нарастает.

Создание экспериментально-аналитического аппарата прогнозирования поведения твердых тел в условиях высокоскоростной деформации обеспечивает качественно новые возможности при фундаментальных и прикладных исследованиях в экспериментальной механике и физике твердого тела, конструировании новых объектов авиационной, космической и военной техники, теплоэнергетике, машиностроении, при разработке технологий получения новых конструкционных материалов с заданными физико-механическими свойствами.

Названные отрасли науки и техники обуславливают необходимость развития экспериментально-аналитических методов исследования быстропротекающих процессов деформирования твердых тел и, прежде всего, конструкционных материалов.

На данный момент наиболее изученным является диапазон скоростей деформации от 10^{-3} до 10^2 с⁻¹ (Работнов Ю.В., Фомин В.С., Годунов С.К., Соколовский В.В., Малверн Л., Пэжин П., Холин Н.Н., Мержиевский Л.А., Степанов Г.В., Ленский В.С. и др.). Область же высоких скоростей деформации от 10^2 до 10^7 с⁻¹ даже экспериментально

изучена недостаточно. Тем не менее, имеющиеся экспериментальные результаты (Фортов В.Е., Канель Г.И., Разоренов С.В., Мещеряков Ю.И., Новиков С.В., Иванов А.Г., Петров Ю.В., Грэди Дж., Эсей Дж., Баркер Л. и др.) свидетельствуют о существенном изменении прочностных свойств твердых тел в указанном диапазоне. Вопросы о величине и характере изменения динамической прочности реальных материалов при высокоскоростной деформации остаются дискуссионными. Не полностью ясна взаимосвязь микроструктуры материалов с протеканием релаксационных процессов на фронте ударной волны и в волнах разгрузки [25,26].

Динамическое поведение многих классов перспективных конструкционных материалов, в том числе керамических, металлокерамических, пористых металлических и функционально-градиентных, практически не изучено. Имеются лишь отдельные уникальные экспериментальные результаты, степень адекватности которых не ясна. Однако именно указанные классы материалов в последние годы все шире используются при создании эффективных средств защиты современных инженерных сооружений и технических объектов от воздействия интенсивных динамических нагрузок. Причиной возникновения таких экстремальных нагрузок могут быть природные катастрофы, террористические акты, нештатная работа оборудования, техногенные аварии.

В имеющихся публикациях на сегодняшний день отсутствует единая точка зрения на целесообразность и методики применения математических моделей для изучения поведения конструкционных материалов при высоких скоростях деформации. И, как следствие, отсутствует единая концепция решения динамических задач механики деформируемого твердого тела в интервале скоростей деформации $10^2 - 10^7 \text{ с}^{-1}$. При этом, проблема создания на единой методологической основе математических моделей и экспериментальных методик решения упомянутых динамических задач осложняется тем, что классы конструкционных материалов чрезвычайно широки, а их физико-механические свойства сильно различаются.

В связи с активным применением в последнее время нанотехнологий актуальной задачей становится направленное регулирование наноструктуры функциональных и конструкционных материалов, что позволяет существенно улучшить их характеристики. Поскольку ресурсы классических технологий изготовления материалов себя исчерпали, ведущие мировые компании и научно-исследовательские группы активно исследуют новые подходы. Одним из таких подходов является метод ударно-волнового воздействия (УВВ). Создание новых оригинальных методов УВВ, позволяющих регулировать распределение легирующих примесей в материалах является одной из важнейших задач для микроэлектроники в области создания новых материалов.

Применение предварительного высокоэнергетического ударно-волнового воздействия позволяет активировать массоперенос в крупнодисперсных порошках и образование специфических структур на их основе. Данная технология позволяет создавать новые системы, такие как SiC–AlN, SiC, AlN, которые перспективны как с точки зрения создания двухфазных композиционных конструкционных керамических материалов, сочетающих в себе наилучшие свойства индивидуальных компонентов, так и с точки зрения создания материалов на основе твёрдых растворов данных веществ, востребованных как компонентная база электротехники.

Большой научный и практический интерес также представляют нестационарные химические процессы, связанные с реакционной или термической безопасностью. Различные технологические процессы в химической или нефтехимической промышленности, на транспорте, в ракетно-космической и оборонной технике требуют пристального внимания к вопросам реакционной безопасности [27-31].

Реакционная (или термическая) опасность обусловлена комбинацией реакционных свойств вещества/смеси и физических условий, т.е. функционированием реакционноопасного объекта, который имеет потенциал выделения тепла и газов в количествах, способных причинить ущерб. За рубежом термическая безопасность рассматривается как один из важных элементов национальной безопасности.

Актуальность исследований по обеспечению термической безопасности для России в настоящее время обусловлена комплексом технических, экономических и социальных причин:

- Создание новых, интенсификация и повышение эффективности существующих химических технологий, внедрение новых химических продуктов (в частности, химически высокоактивных наноматериалов) сопряжено с возрастанием термической опасности таких процессов и продуктов.
- Повышение обороноспособности страны требует создания нового поколения более энергонасыщенных и поэтому реакционноопасных ракетных топлив и боеприпасов.
- Необходимость создания сертифицированной и аккредитованной в соответствии с международным законодательством испытательной базы, без которой невозможен экспорт российской продукции.

Исчерпаемость мировых запасов нефти, а также экспоненциальное нарастание экологической напряженности, связанное с последствиями от использования минеральных источников энергии, диктуют настоятельную необходимость перехода на

альтернативные нефтяные источники энергоносителей. Биотоплива, получаемые из возобновляемых видов сырья, не содержащие в своем составе серы и канцерогенных соединений, разлагающиеся в течение двух месяцев без ущерба для окружающей среды и обладающие значительно более чистым выхлопом являются наиболее подходящей заменой нефтяным моторным топливам [32-34]. Понятие «биотопливо» включает в себя три вида топлива, получаемого из биологического сырья: твердое топливо (древесина, отходы деревопереработки, щепа, лузга и т.п.); жидкое топливо, используемое в транспортных средствах с двигателями внутреннего сгорания (этанол, биодизель, метанол); газообразное топливо (синтезированные в ходе переработки биомассы газы). Основными видами биотоплива являются биоэтанол и биодизель.

Создание современного, высокоэффективного и экологически безопасного производства по получению биодизельного топлива требует разработки и внедрения новых технологий для интенсификации химико-технологических процессов и совершенствования мер по ресурсо- и энергосбережению.

3.2.3 Ведущие научные школы в области экстремальных состояний сплошных сред

3.2.3.1 Зарубежные научные школы

За рубежом наиболее значительные результаты по данной тематике были получены в Стэнфордском научно-исследовательском институте (D.A. Shockey, D.R. Curran, L. Seaman [35-42]), Калифорнийском технологическом институте (W.G. Knauss, K. Ravi-Chandar, A.J. Rosakis [43,44]), Рурском университете (J.F.Kalthoff [45]), Израиле (J.Feinberg [46-48]).

Центр механики твердого тела, конструкций и материалов Университета штата Техас в Остине (США) выполняет исследования фундаментального и прикладного характера в указанной области и, в частности, проектирование новых прочных и долговечных материалов для микроэлектронной промышленности. В Центр входят: Лаборатория Твердого тела и Конструкций, Компьютерный центр, Лаборатория Композитов и Лаборатория механики Материалов. Лаборатории располагают современным оборудованием для испытания материалов на макро- мезо и микро- уровнях. Имеется специализированное компьютерное оборудование, включающее рабочие станции, графические устройства, средства автоматического сбора и цифрового анализа экспериментальных данных.

Калифорнийский Технологический Институт (CalTech, США) ведет разработки в области механики твердого тела, повреждения материалов и механики землетрясений.

Эксперименты направлены на изучение физических процессов при динамическом разрушении и катастрофическом повреждении таких материалов, как металлы, полимеры, стекло-металлические композиты, слоистые тела и поверхности трения. Экспериментальный анализ включает в себя полный спектр оптической диагностики, – как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне. При этом используется Когерентный Градиентный Сенсор (КГС), позволяющий прояснить природу многомасштабности динамического межфазного разрушения композитных материалов, слоистых структур и тонких покрытий.

Наиболее важным приложением КГС к проблемам механики является возможность изучать характеристики тонких пленок: комбинация аналитических моделей и экспериментальных данных, полученных с помощью КГС позволила значительно продвинуться в задаче повышения надежности микроэлектронных устройств. В сочетании с высокоскоростной фотографией КГС позволяет плодотворно изучать удар и фрагментацию керамик и хрупких полимеров, а также высокоскоростной удар применительно к проблеме разрушения поверхностей микрометеоритами и защите космического оборудования от орбитальных осколков.

Развитие КГС-интерферометрии позволило прояснить фундаментальные основы разрушения твердых тел, привело к появлению новых метрологических инструментов, позволяющих in-situ тестировать производство 300-миллиметровых кристаллических пластин для микроэлектронных устройств. 13 патентов, связанных с КГС, позволило Caltech получить дополнительный экономический эффект от внедрения разработанной технологии в микроэлектронную промышленность (Intel, Semetech, Applied Materials).

Центр Физики Разрушения и Лаборатория Материаловедения Стэнфордского Исследовательского Института (SRI International, Стэнфордский университет, США) ведет научные исследования в следующих направлениях:

- высокоскоростной износ материалов в космических условиях и защита от него;
- проектирование прочных стентов для защиты кровеносных сосудов и проведение механических экспериментов по их тестированию;
- разработка новых материалов на основе стекла для эффективной защиты окон военных транспортных средств;
- повышение надежности солдатского вооружения посредством измерений и моделирования распространения усталостных трещин в электронных компонентах;

- прогнозирование механического повреждения при помощи современных методов фрактографии с целью предсказания долговечности и разработки новых моделей самолетов, мостов, трубопроводов;
- выяснение первопричин и обеспечение экспертных проверок оборудования при авариях и повреждениях (например, таких как растрескивание ротора Чилийской энергостанции);
- высокоскоростное разрушение и роль микроструктуры в образовании и росте трещин.

Институтом разработана уникальная технология Топографического Анализа Поверхностей Разрушения, – FRASTA (Fracture Surface Topography Analysis) с целью ответа на вопрос, – как и почему разрушаются конструкции? В частности, эта технология используется для прогнозирования долговечности летательных аппаратов и определения условий распространения трещин в трубопроводах и, в конечном итоге, – для проектирования более безопасных конструкций.

3.2.3.2 Российские научные школы

В России (за пределами С.-Петербурга) ведущими научными организациями в области механики и физики экстремальных состояний сплошных сред являются: Объединенный институт высоких температур РАН Москва; Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Московская область; Институт физики прочности и материаловедения РАН, Томск; Институт проблем механики РАН, Москва.

В Объединенном институте высоких температур РАН ведутся исследования в области механики ударно-волновых явлений в конденсированных средах. Исследованы упругопластические, прочностные и кинетические свойства обширного круга материалов при экстремальных скоростях деформирования и построены определяющие соотношения, необходимые для расчетов действия взрыва и высокоскоростного удара, впервые проведены исследования кинетики энерговыделения в ударных и детонационных волнах в твердых взрывчатых веществах, обнаружены и исследованы волны разрушения в ударно-сжатых хрупких материалах, зафиксировано приближение к предельной («идеальной») прочности твердых тел при наносекундных длительностях нагрузки, определены температурные зависимости субмикросекундной прочности ряда металлов вплоть до точки плавления, обнаружено явление аномального возрастания предела текучести пластичных металлов с нагревом вследствие изменения преобладающего механизма

торможения дислокаций, реализованы перегретые твердотельные состояния металлических монокристаллов.

Отдел экстремальных состояний вещества Института проблем химической физики РАН проводит исследования по следующим направлениям: физико-химические свойства вещества при высоких плотностях энергии; химические и фазовые превращения в ударных и детонационных волнах; теплофизические и прочностные свойства конденсированных сред при интенсивных импульсных воздействиях; численное моделирование нестационарных физико-химических процессов при высоких плотностях энергии; преобразование химической энергии конденсированного ВВ в электромагнитную; уравнения состояния и базы данных физико-химических свойств веществ в экстремальных условиях. Сотрудниками отдела получен ряд интересных экспериментальных эффектов, демонстрирующих аномальное поведение предельных характеристик текучести и плавления твердых тел при интенсивном нагружении.

В НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета предложены новые физико-математические модели поведения конструкционных и природных материалов в условиях кратковременных импульсных воздействий, полученные путем экспериментальных и теоретических исследований. Результаты экспериментального моделирования разрушения конструкционных материалов при ударных нагрузках находятся на мировом уровне, а в разделе создания комплекса критериев подобия и формульных соотношений, отражающих функциональные связи между критериями подобия, полученные результаты выше мирового уровня.

В Отделе структурной макрокинетики Томского Научного Центра СО РАН ведутся исследования физико-химической природы и математическое моделирование процессов горения, ударно-волновых явлений в гетерогенных системах с образованием конденсированных продуктов реакций.

НИИ механики при Нижегородском госуниверситете ведет исследования по направлениям: высокоскоростной удар и проникание тел и конструкций в жидкости и грунтовые среды; взрывные воздействия на конструкции в различных средах; соударение конструкций; анализ быстропротекающих аварийных процессов при локальных повреждениях конструкций. Коллективом НИИ разработаны численные методики и пакет программ "Динамика - 2" расчета плоских и осесимметричных задач нестационарного взаимодействия тонкостенных конструкций с газовыми, жидкостными и грунтовыми средами с комплексным учетом основных нелинейных факторов – больших перемещений

и необратимых деформаций элементов конструкций, интенсивных ударных волн и кавитационных явлений в средах. Разработаны численные методики и пакет программ "Динамика - 3" для расчета геометрически и физически нелинейных задач нестационарного деформирования пространственных конструкций, состоящих из тонкостенных и массивных элементов, однородных и композитных материалов. Создан экспериментальный комплекс для анализа процессов высокоскоростного деформирования и разрушения конструкционных материалов, позволяющий определять физико-механические свойства конструкционных материалов, параметры процессов их деформирования и разрушения при скоростях деформации 100-100000 секунд в минус первой степени. По основным своим параметрам комплекс аналогичен комплексам, имеющимся в США, Британии, Франции и Японии. Разработаны новые методики высокоскоростных испытаний, которые позволяют исследовать упругопластические и прочностные свойства как традиционных (металлы и их сплавы), так и нетрадиционных конструкционных материалов (керамики, полимеры, композиты, бетоны, грунты). Разработана методика динамических испытаний грунтов, которая позволяет определять их сжимаемость и прочностные свойства в диапазоне скоростей 100 - 10000 секунд в минус первой степени и давлении до 500 МПа. Ведется работа над созданием методологических основ математического моделирования нестационарных процессов различной физической природы (механических, гидродинамических, тепловых и других).

3.2.3.3 Петербургские научные школы

В Петербурге ведущими научными организациями в области механики экстремальных состояний материалов и конструкций являются Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Институт проблем машиноведения РАН (ИПМаш РАН), Санкт-Петербургский государственный Политехнический университет (СПбГПУ).

В Санкт-Петербургском государственном университете работает научно-исследовательский центр «Динамика» (НИЦ «Динамика»), который является современным ресурсным центром, обеспечивающим передовые научно-исследовательские и технологические разработки в области физики и техники высокоскоростных взаимодействий. Центр основан с целью активизации передовых разработок и распространения современных научных достижений в области физики и техники высокоскоростных взаимодействий на прикладные области высоких технологий и инженерного проектирования. Основные направления работы центра: 1) эксперименты с привлечением управляемых ударно-взрывных нагружений милли-, микро- и

наносекундного диапазонов, а также способов скоростной регистрации деформирования и разрушения сплошных сред; 2) вычислительные эксперименты в области динамики деформирования и разрушения материалов и конструкций и компьютерное моделирование предельного поведения сплошных сред; 3) разработка эффективных методов тестирования и сертификации динамических свойств конструкционных материалов.

В Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (СПбГПУ) проводятся исследования в области аналитического и компьютерного моделирования механических процессов в конденсированном веществе с микроструктурой. Изучаются как методы компьютерного моделирования, так и теоретические основы описания процессов деформирования и разрушения. Предлагаемые подходы особенно важны для описания процессов, при которых происходит нарушение сплошности материала, а также при переходе на масштабные уровни, на которых существенным оказывается учет атомарного строения вещества, в частности, для описания наноструктур. Для аналитического и численного описания процессов, происходящих в телах с микроструктурой, широко используется метод динамики частиц, состоящий в представлении тела как совокупности взаимодействующих частиц (материальных точек или твердых тел), движущихся согласно классическим уравнениям динамики под действием заданных законов взаимодействия между частицами. Одним из наиболее хорошо разработанных вариантов этого метода является метод молекулярной динамики, на протяжении последних десятилетий интенсивно использующийся для исследования физико-химических свойств материалов.

В СПбГПУ накоплен большой опыт применения программных вычислительных комплексов для решения задач пробивания (проникания, соударения деформируемых тел, защиты от пробивания и т.д.), а также других смежных классов задач. Для пространственных (3-D) динамических физически- и геометрически- нелинейных задач контактного взаимодействия термовязкопластических тел с динамическим разрушением для скоростей до 4 км/с применяются программные системы компьютерного моделирования и инжиниринга (CAE-системы). Предложены полномасштабные пространственные конечно-элементные модели для исследования проблем механики контактного взаимодействия с учетом разрушения в динамической постановке. Они включают в себя большой круг различных материалов с учетом их упруго-пластического поведения и разрушения. Ведется разработка методик многоуровневых конечно-элементных расчетов прочности элементов конструкций и методик расчета прочности и

повреждений конструкций под действием ударных и динамических нагрузок на основе многоуровневого конечно-элементного (КЭ) моделирования.

Отдел экстремальных состояний материалов и конструкций Института проблем машиноведения РАН (ОЭСМК ИПМаш РАН) занимается исследованием критических условий возникновения структурных превращений в материалах, находящихся под воздействием нестационарных высокоинтенсивных динамических термомеханических нагрузок. Проводятся численные исследования возникновения стохастических и хаотических режимов при быстром разрушении материалов в условиях ударно-волновых нагружений. Основной акцент делается на возможность объяснения и прогнозирования неустойчивого поведения предельных характеристик, – динамической прочности и текучести, критических коэффициентов интенсивности (вязкости разрушения), критических давлений, температур и других параметров структурных превращений. Изучаются масштабные эффекты разрушения и структурных превращений в условиях воздействия интенсивных динамических нагрузок. Особое внимание уделяется обоснованию выбора образцов и схем их испытания для обеспечения масштабной согласованности и корректности в определении предельных характеристик статической и динамической прочности и трещиностойкости материалов.

В Отделении физики твердого тела Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе РАН изучаются эффекты высокоскоростного внедрения ударников в твердые тела. В частности, обнаружен эффект хрупко - вязкого перехода при гиперсверхзвуковом нагружении, превышающем скорость роста трещин разрушения. Измерены значения баллистической прочности и твердости для серии образцов карбид-кремниевой (SiC) керамики с варьируемой (от 1 до 20%) пористостью. Также ФТИ много лет успешно ведет фундаментальные работы по высокоскоростному (до 10 км/с) ударно-волновому нагружению твердых тел, а также аэродинамическим исследованиям. Благодаря этим исследованиям были заложены физические основы теории брони, а также гиперзвукового обтекания летательных аппаратов. К настоящему времени в ФТИ разработаны и созданы уникальные баллистические комплексы со сложной измерительной аппаратурой для регистрации быстропротекающих процессов. Проводимые в ФТИ эксперименты, а также глубокий теоретический анализ высоко ценится специалистами во всем мире, ряд фундаментальных соотношений конечной баллистики названы формулами Физико-технического института.

3.2.4 Возможности научного потенциала Петербурга

На основе анализа результатов исследований в области экстремальных состояний сплошных сред, материалов и конструкций можно дать предварительную оценку научного потенциала Петербурга с точки зрения развития наукоемких отраслей экономики Северо - Западного региона РФ.

Одним из приоритетных направлений развития региона является высокоскоростной железнодорожный транспорт. Пример эксплуатации скоростного экспресса «Сапсан» показал, что уже существующие магистрали по многим параметрам не подходят для такого класса поездов. Требуется создание специализированных магистралей. В Санкт-Петербурге в настоящее время создается исследовательский центр «РЖД», в котором частично будут решаться задачи, связанные с созданием таких высокоскоростных магистралей.

Также интенсивно развивается сеть высокоскоростных автомобильных магистралей (КАД и ЗСД). Одной из основных проблем эксплуатации данных дорог является образование колеиности и сильный износ асфальтобетонного покрытия шипами противоскольжения в зимний период. Известно, что скандинавские страны, в которых существует похожая проблема, для снижения износа дорожного полотна устанавливают в зимний период существенное ограничение скорости до 80 км/ч. В Северо-Западном регионе таких ограничений нет, что в итоге приводит к перманентному ремонту КАД. Все существующие тесты и ГОСТы по асфальтобитумным смесям не учитывают динамические особенности процесса разрушения, возникающего при движении высокоскоростного транспорта. Требуется научное обоснование высокого износа дорожного полотна, не связанное с качеством асфальтобитумной смеси, рекомендации по изменению состава смеси для снижения износа, разработка методик тестирования, учитывающих динамические свойства процесса нагружения, а также возможное создание новых ГОСТ по эксплуатации дорожного покрытия в северных регионах.

В Северо-Западном регионе и в Санкт-Петербурге в рамках возрождения микроэлектронной промышленности, ориентированной на выпуск приборов и устройств для военной техники (Морприбор, Гидроприбор, Электроприбор, Звезда, Морфизприбор) и внедрения бескорпусных технологий и сложных монтажных элементов («сэндвичей») существует большой интерес к созданию комбинированных материалов полупроводник - диэлектрик с высоким электросопротивлением, при сохранении возможности отвода тепла от разогретых поверхностей.

Для решения проблем термической безопасности, актуальных и для Северо-Западного региона, научно-исследовательским и конструкторским организациям, работающим в области создания новых химических технологий и продуктов (ФГУП «РНЦ Прикладная химия» (Минобрнаука), РФЯЦ-ВНИИЭФ (Росатом), ФБУ НТЦ ЯРБ (Ростехнадзор), ОАО ФНПЦ «Алтай» (Минпромторг), ФНПЦ НИИПХ (пиротехническая промышленность)) необходимо:

- создать научно - методическую и нормативную базу;
- разработать эффективную технологию прогнозирования, предупреждения и снижения тяжести последствий аварий техногенного характера;
- вывести на отечественный рынок программно-методический комплекс для исследования термических опасностей;
- обеспечить методическую основу для подготовки кадров в области химической и термической безопасности.

Актуальной задачей для Санкт-Петербурга является проблема утилизации отходов. Один из вариантов решения, – постройка реактора с водой в сверхкритическом состоянии. С другой стороны, мусорные полигоны являются заинтересованным лицом в производстве биогаза и биотоплива, сырьем для которых могут служить мусорные свалки, отходы лесозаготовок и деревообрабатывающей промышленности, сельского хозяйства, систем очистки стоков.

Выводы

В разделе дан анализ современного состояния дел в области исследования экстремальных состояний и структурных превращений сплошных сред искусственного и природного происхождения. Для развития современных промышленных технологий необходима разработка новых стандартов и методик тестирования материалов, учитывающая специфику динамического поведения сплошных сред. Поэтому поддержка исследований в области механики, химической физики сплошных сред, подвергающихся экстремальным динамическим воздействиям, имеет принципиальное значение и для академической науки, и для развития современных промышленных технологий.

В работе выделяются *следующие перспективные научные направления*:

- Исследование закономерностей разрушения, деформирования и структурно-фазовых превращений в сплошных средах при экстремальных термомеханических и физико-химических воздействиях;

- Разработка новых принципов тестирования механических и физических свойств материалов при экстремальных воздействиях; развитие современной нормативной базы по прочности и износостойкости материалов и элементов конструкций;
- Поиск оптимальных режимов целенаправленного разрушения, фрагментации, измельчения природных материалов; внедрение в практику нетрадиционных способов обработки материалов (импульсное, ультразвуковое и вибрационное резание, виброударные системы);
- Экспериментальные и теоретические исследования динамических процессов в сплошных средах под воздействием нагрузок немеханической природы (электронные пучки, импульсные магнитные поля, электрический взрыв, лазерные импульсы), изучение свойств диэлектрических сред при интенсивных электрофизических воздействиях с высокими плотностями энергии;
- Прогнозирование предельно допустимых нагрузок на конструкционные материалы, используемые в высокоскоростных транспортных системах; исследование закономерностей и механизмов скоростного изнашивания поверхностей в трибологических системах;
- Создание новых конструкционных материалов с повышенными физико-механическими характеристиками за счет управления их гетерогенной структурой на различных масштабных уровнях;
- Исследование структурных превращений и фазовых переходов в жидких средах в условиях импульсного и вибрационного воздействия; разработка технологических методов управления особыми (метастабильными, сверхкритическими) состояниями;
- Изучение реакционной опасности химических процессов в целях обеспечения термической безопасности промышленных объектов;
- Поиск способов управления наноструктурой и свойствами функциональных и конструкционных материалов при различных статических и динамических воздействиях;
- Разработка технологий получения альтернативных источников энергии на основе физико-химических способов переработки бытовых и промышленных отходов.

3.3 Конструкционные наноматериалы

Анализ состояния и перспектив развития инновационных изделий общего и специального назначения показывает, что достижение высоких потребительских свойств решающим образом определяется достигнутым уровнем технологических и эксплуатационных характеристик новых материалов. С технической и коммерческой точек зрения актуальным и эффективным будет создание следующих видов новых материалов:

(1) Создание материалов с широкими функциональными возможностями, обеспечивающими производственную деятельность человека. В том числе материалов для производства экологически безопасных альтернативных видов энергии и повышения эффективности ее использования (магнитные материалы, сверхпроводники, интерметаллиды, материалы – поглотители водорода, материалы для солнечных источников энергии высокочастотных накопителей энергии, материалы для создания реакторов малой мощности на легкой воде, обладающих естественной безопасностью, реакторов ядерного синтеза и высокоскоростных реакторов-размножителей).

(2) Создание материалов для реализации социально значимых технологий, в том числе материалов для обеспечения быстрой и защищенной передачи информации (наноматериалы для создания принципиально новой элементной базы, материалы для комплексов лазерной связи, оптические и волоконнооптические материалы, сверхпроводящие материалы), материалы для создания новых видов транспортных средств (сверхскоростных железнодорожных поездов, работающих в условиях низкого расхода энергии, отсутствия шума и вибрации, автомобилей нового поколения, суперлайнеров, судов с поверхностным скольжением, гиперзвуковых самолетов, многоместных и малогабаритных самолетов).

(3) Создание новых материалов для использования пространства (для использования космоса, нового наземного транспорта, использования пространства под землей, использования Мирового океана).

(4) Создание материалов и базовых технологий, направленных на борьбу с загрязнением окружающей среды.

Существенную роль в создании указанных материалов отводится нанотехнологиям, в т.ч. как современным, адаптированным для получения наноразмерных и наноструктурированных систем, так и «квантовым» технологиям, позволяющим манипулировать наноразмерными объектами в соответствии с заданной программой.

Реализация федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы» явилась реальной координирующей основой в оснащении ведущих материаловедческих центров страны современным научно-технологическим, диагностическим и испытательным оборудованием. Создание в РФ национальной нанотехнологической сети (ННС) и определение федеральными органами исполнительной власти головных организаций отраслей положительным образом сказалось на решении первоочередных организационно-технических задач в области наноматериалов.

ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» в составе ННС определен головной организацией отрасли (ГОО) в области конструкционных наноматериалов.

В соответствии с функциями головной научной организации «Прометей» организовал секцию «Конструкционные наноматериалы», в состав которой вошли ведущие специалисты из научных и образовательных центров Санкт-Петербурга. Тесного взаимодействия вследствие отсутствия предусмотренного целевого финансирования для деятельности ГОО наладить не удастся. Однако двусторонние и более расширенные научно-технические контакты оказались вполне конструктивными, в результате чего получены интересные результаты фундаментально-прикладного и поискового характера. Кроме того с привлечением основных членов секции разработана дорожная карта развития наноиндустрии Российской Федерации на период до 2015 года и на перспективу до 2025 года.

Применительно к созданию конструкционных наноматериалов и конструкционно-функциональных элементов на их основе, перспективные фундаментальные и прикладные исследования должны быть в первую очередь направлены на реализацию «традиционных» технологий, прежде всего:

- Управляемое создание наноструктуры в объеме материала:
 - прецизионная термическая обработка;
 - интенсивная пластическая деформация;
 - выплавка новых составов или введение наночастиц.
- Получение наноматериалов в виде порошков, нановолокон, нанопроводов и аморфных лент:
 - дезинтеграторно-активаторная технология измельчения;
 - высокоскоростная закалка из расплава;
 - получение нанопорошков химическим, плазмохимическим, электроискровым и другими методами.

- Инжиниринг поверхности материала:
 - нанесение функционально-градиентных покрытий;
 - поверхностная обработка и упрочнение.
- Соединение материалов:
 - лазерная сварка и гибридные виды сварки;
 - сварка трением.
- Направленное создание материала:
 - лазерное послойное создание материала заданного состава, структуры и формы (SLS, SLM и LENS технологии);
 - спекание материала в присутствии электрического поля (Spark Plasma Sintering, Field Assisted Sintering).

При этом синхронно должна развиваться метрологическая аттестация и сертификация наноматериалов на основе новых диагностических подходов.

Прогнозирование на перспективу до 2025 года представляется существенно более сложной задачей, так как, во-первых, решаемые научно-технические и технологические проблемы должны базироваться на конкретных результатах работ, полученных в краткосрочной и среднесрочной перспективах. Во-вторых, ещё недостаточно изучена система моделирования наноструктур, с помощью которой можно прогнозировать свойства получаемых наноматериалов и соответственно их эксплуатационные возможности. Поэтому перспективный прогноз до 2025 года по решаемым материаловедческим задачам в области конструкционных наноматериалов может быть сформулирован, исходя из решения и материализации общих социально-экономических проблем.

Весьма полезным для прогнозных исследований является анализ состояния исследований и разработок в области конструкционных материалов, проводимых ведущими материаловедческими фирмами у нас в стране и за рубежом.

3.3.1 Современное состояние и тенденции развития фундаментальных научных исследований в области наноматериалов

Наибольший интерес к развитию наноматериалов конструкционного и функционального назначений приходится на самое начало XXI века. Важнейшие для мирового сообщества проблемы освоения арктического шельфа, северных и сейсмически активных регионов нефтегазодобычи, высотного гражданского и промышленного строительства, грузоподъемного и тяжелого машиностроения и др. связаны с решением задач по созданию хорошо свариваемых сталей и сплавов с повышенными характеристиками по прочности, хладостойкости, сопротивлению хрупким и вязким

разрушениям для экстремальных условий эксплуатации. Наличие коррозионных сред, высокие удельные нагрузки, цикличность нагружения, низкие температуры и целый ряд других требований, в т.ч. и экономического характера, обуславливают поиск новых нетрадиционных подходов к созданию таких материалов для различных отраслей промышленности (нефтегазодобыча и транспортировка углеводородов, судостроение, машиностроение, строительство, медицина, химическая и пищевая промышленность, сельское хозяйство и др.). В последние годы наметились новые пути повышения свойств конструкционных материалов за счет целенаправленного формирования микро - и нанокристаллической структуры. Эффективная реализация этих путей развития требует проведения целого комплекса фундаментальных и прикладных исследований.

Основными перспективными направлениями создания объемных наноструктурированных конструкционных сталей и сплавов являются [49].

- объемное модифицирование расплава тугоплавкими наночастицами с быстрым и нормальным затвердеванием металла.
- формирование из расплава объемно аморфизированной структуры с последующей ее трансформацией в нанокристаллическую.
- фрагментация кристаллов при специальном термопластическом воздействии;
- управляемый распад пересыщенных твердых растворов с выделением наночастиц при термопластическом или прецизионном термическом воздействии;
- целенаправленное формирование нанокompозитных структур при фазовом превращении;
- комбинация этих методов.



Рис. 3.1

3.3.2 Анализ исследований и разработок в области наноматериалов, проводимых за рубежом

Разработки в области наноматериалов являются относительно новыми и проходят в настоящее время полный цикл материаловедческих исследований, начиная от фундаментальных и до внедренческих включительно. Это весьма затратные исследования, поэтому наибольшие объемы целевого финансирования за рубежом приходится на создание новой военной техники и техники двойного применения. Например, в США, в соответствии с разработанной национальной нанотехнологической инициативой для проведения комплексных научных исследований по различным аспектам военной политики, Пентагон широко использует научно-исследовательские лаборатории и центры университетов и колледжей, в попечительских советах которых имеются представители ведущих военно-промышленных корпораций. К ним, например, относятся Массачусетский и Гарвардский технологические институты, Мичиганский, Техасский университеты, университет Джона Гопкинса. В США, как и в других передовых странах в области наноматериалов (Франция, Германия, Израиль, Индия, Китай), четко встроена вертикальная инфраструктура для решения военно-технических задач. Поэтому целесообразно провести анализ именно применительно к этому вектору развития nanoиндустрии.

Соединенные Штаты Америки

В соответствии с бюджетной классификацией, программы НИОКР МО США, в т.ч. и в области нанотехнологий, подразделяются на следующие категории: прикладные исследования, технологические разработки, разработка прототипов серийных образцов ВВТ и их подсистем, испытания ВВТ, ОКР и технологические работы в интересах подготовки к промышленному производству серийного образца, материально-техническое обеспечение НИОКР, стандартизация и унификация, реализация программ по сотрудничеству с малым бизнесом.

Общий объем запланированных ассигнований на реализацию программ НИОКР МО США в 2013 году составил \$72,998 млрд. [50]. Вся исследовательская программа разделена между 23 ведомствами - от крупных (Армия, ВВС, ВМС и DARPA), до совершенно крошечных, вроде исследований Агентства военного сотрудничества и Административно-штабной службы зоны Вашингтон [51].

Помимо ведомственных НИОКР, бюджет содержит 5 национальных секретных программ на общую сумму \$16,3 млрд. Распределение этих средств осуществляется по категориям НИОКР (ВА1–ВА7), по одиннадцати программам развития ВС США (от

стратегических сил до секретных программ), а также по категории программ дополнительного финансирования (BA20). Работы BA1, BA2, BA3 составляют одну общую категорию «Исследования и технологические разработки» (Research and Technology):

BA-1. Исследования, направленные на расширение знаний о фундаментальных аспектах явлений и наблюдаемых фактов и не ориентированные на решение конкретной прикладной научно-технической задачи в области разработки ВВТ. Практическая направленность научных проектов (программных элементов) этой категории работ предполагает решение задач, предшествующих начальному этапу Программы приобретения (Program Acquisition) военной продукции (создание нового образца ВВТ или модернизация существующего), – «Анализ возможных решений» (Materiel Solution Analysis Phase).

BA-2. Систематические исследования, направленные на расширение знаний и представлений, необходимых для определения способа, посредством которого может быть решена научно-практическая задача. Данная категория работ обеспечивает непрерывное расширение и применение знаний для разработки новых полезных материалов, устройств, систем, методов или процессов их создания. Элементы программ прикладных исследований направлены на решение задач, предшествующих начальному этапу (Materiel Solution Analysis Phase) Программы приобретения либо входящих в него.

BA-3. Программы технологических разработок ориентированы на решение задач, связанных с удовлетворением конкретных военных нужд (потребностей), сформулированных КНШ. Эта категория НИОКР включает разработки компонентной базы, элементов подсистем и систем, а также создание технологий их интеграции в опытные и/или макетные образцы ВВТ в интересах проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях и/или натурных испытаний. Результаты выполнения таких разработок должны позволить оценить практическую реализуемость и полезность технологии при создании макетного образца ВВТ, возможность и предельные сроки промышленного освоения технологий для производства серийных образцов ВВТ, ориентировочные затраты, связанные с дальнейшей реализацией второго этапа Программы – «Этап ОКР по созданию прототипа образца военной продукции» (Technology Development Phase). Ежегодно на проведение работ BA1, BA2 и BA3 выделяется около 16–17 процентов от общего объема средств на НИОКР МО США. В 2013 финансовом году – \$11,861 млрд. [52].

Наиболее известными организациями, выполняющими работы в области создания новых материалов, в т.ч. наноматериалов для ВВТ, являются: Управление программ

защиты химической и биологической защиты, Управление по снижению опасности (DTRA), Управления научных исследований (Army Research Office (ARO), Air Force Office of Science Research (AFOSR), Office of Naval Research (ONR), Boston Dynamics, Deloitte, McKinsey, United Technologies, Агентство передовых оборонных исследовательских проектов (DARPA) - (Defense Advanced Research Projects Agency). Последнюю организацию следует отметить особо. Основными направлениями ее деятельности являются: сохранение технологического превосходства вооруженных сил США, предотвращение внезапного для США появления новых технических средств вооруженной борьбы, поддержка прорывных исследований, преодоление разрыва между фундаментальными исследованиями и их применением в военной сфере. При том, что *DARPA* расходует только 4% бюджетных ассигнований Министерства обороны, достижения этого Агентства в технологической сфере существенно превосходят масштабы и значимость научных достижений других организаций МО, ведущих работы в целях обеспечения национальной безопасности.

В 2013 году бюджет *DARPA* составил почти \$2,7 млрд. В Агентстве работают 350 специалистов, включая 94 руководителей программ. Эксперты *DARPA* ведут работы по 2000 контрактам, грантам и другим соглашениям с различными компаниями, университетами и национальными научными лабораториями, а также R&D крупными корпорациями, такими как Boeing, Lockheed Martin, BAE system. Большинство контрактов заключается на 1-3 года [53].

В настоящее время (2010-2013гг.) *DARPA* реализует 250 научно-исследовательских проектов, среди которых наиболее значимыми являются *Excalibur*, *Architecture for Diode High Energy Laser System*, *Ultra Beam* и *Compact Mid-ultraviolet technology*.

Например, агентство *DARPA* тратит большие средства на развитие нанотехнологий. Но, несмотря на то, что основные концепции в их развитии признаны необходимыми, все еще остаются проблемы с массовым их производством. Целью программы *Tip-Based Nanofabrication* является установление контроля над качеством производства наноматериалов – нанопроводов, нанотрубок и квантовых точек, который включает в себя контроль размера, ориентации и положения каждого продукта.

Весьма перспективным направлением этой программы является создание композитных наноматериалов, тонкие слои которых могут останавливать пули и осколки эффективнее, чем современные тяжелые пуленепробиваемые материалы. Но для воплощения подобных идей в жизнь раньше не хватало некоторых технологий, которые появились только сравнительно недавно. И результат этого не заставил себя долго ждать. Новый композиционный материал, состоящий из тончайших слоев различных материалов,

толщиной всего несколько нанометров, является намного более легким, нежели другой ударопрочный материал, обладающий подобными характеристиками. А дальнейшее усовершенствование технологии изготовления такого материала позволит создать эффективные бронежилеты и другие защитные средства, толщиной всего с лист бумаги.

В качестве конкретного примера следует особо отметить исследования специалистов США в области материалов для химической и биологической защиты. Наноконпании уже несколько лет подряд совершенствуют системы защиты от химического и биологического оружия. Компания NanoScale Materials Inc. в этом году предложила коммерческий продукт на основе нанотехнологий, который нейтрализует токсичные химикаты. Один из продуктов компании - порошок FAST ACT (First Applied Sorbent Treatment Against Chemical Threats), который обезвреживает токсичные химикаты. Порошок состоит из активных наночастиц, которые связывают и деактивируют около 24 известных токсичных химических соединений. Компания *Gentex Corp.*, США в сотрудничестве с NanoScale Materials Inc. разработала защитный костюм для солдат, в котором используется материал, интегрированный с порошком FAST ACT [54].

Для защиты от спор *Bacillus anthracis*, бактерии, наиболее распространенной в качестве военного бактериологического агента, компания Nanomaterials Research Corp. предложила использовать фуллерены, соединенные с антителами. Результаты клинических испытаний препарата показали, что он убивает саму бактерию и ее споры до того, как концентрация патогенов в организме приведет к его смерти. (1 проба представляет собой капсулу диаметром 5 мм и 2 см длиной) [55]. Компания *U.S. Global* разработала воздушные фильтры с ультрамалыми порами (около 50 нм) на основе нановолокон. Благодаря низкой проницаемости фильтр не пропускает отдельные вирусы и бактерии [56].

Разработана методика антимикробной отделки текстиля, основанная на использовании наночастиц серебра. В противоположность традиционному подходу - добавлению готового наносеребра, авторы синтезировали Ag-наночастицы путем нанесения на текстильную основу водного раствора соли серебра с последующим УФ-облучением, которое вызывает *in situ* восстановление металла. Преимуществом данного процесса является то, что получаемые частицы имеют малый размер, равномерно распределены по поверхности ткани и не агломерируют. Процесс весьма гибок, может сочетаться с другими технологиями и может быть использован в различных областях применений, начиная с антимикробных нановолокон для фильтров и гидрогелевых покрытий перевязочных материалов, вплоть до покрытий с постепенным высвобождением реагента.

Для эффективной биологической защиты личного состава интересно применение слоистых силикатов [57]. Эти материалы, называемые иначе – наноглина – характеризуются высокой степенью набухания и свойством адсорбции находящихся в воздухе вредных и токсичных веществ. Химическое модифицирование глинистых минералов (монтмориллонита, гекторита, лапонита) позволяет улучшить адсорбирующего действия по отношению к особым вредным веществам и, вместе с тем, обеспечить их прочную фиксацию на текстильных волокнах. Текстильные изделия с покрытием предотвращают попадание на кожу опасных для химических соединений и, в связи с этим, могут широко использоваться в производстве защитной одежды, спецоснащения для чрезвычайных ситуаций.

Страны Европейского Союза

Работы стран Европейского Союза направлены на достижение качественного скачка боеспособности военнослужащих и существенного повышения эффективности действий тактических подразделений в целом, включают отдельные программные элементы по конструкционным и функциональным наноматериалам.

Основные программы по созданию пулестойких материалов для средств индивидуальной защиты (бронежилеты и каски личного состава): *Warrior 2020* (Финляндия), *Felin* (Франция), *JdZ* (Германия), *Soldato Futuro* (Италия), *Combatiente Futuro* (Испания), *Soldier Modernisation Program – SMP* (Нидерланды), *NORMANS* (Норвегия), *Soldado do Futuro* (Португалия), *IMESS* (Швейцария), *MARKUS* (Швеция), *FIST* (Великобритания), *BEST* (Бельгия), *Projekt TYTAN* (Польша), *21st Century soldier* (Чехия). Кроме того, ЕС выполняет программу “*Advanced Standoff Cruise Missile*” по созданию композиционных материалов для снарядов, ориентирующихся по широкому спектру приборов, от спутниковых до лазерных; способных программироваться в полете и нести массу сенсоров для разведки и наведения [58].

Выполнение перечисленных программ предусматривает:

- широкое использование новых материалов и технологий для разработки перспективного носимого вооружения;
- уменьшение массы комплекта обмундирования и снаряжения;
- повышение защитных свойств и износостойкости;
- обеспечение комфортных условий при длительном ношении оружия;
- создание единого информационного поля;
- снижение стоимости серийных образцов

Следует особо выделить работы, *проводимые в области нанотехнологий*. Сейчас на территории Западной Европы существуют около 300 компаний, работающих с

нанотехнологиями. Треть из них находится в Германии, второе место по количеству компаний занимает Великобритания, затем идут Швейцария и Франция (рис 3.2.)

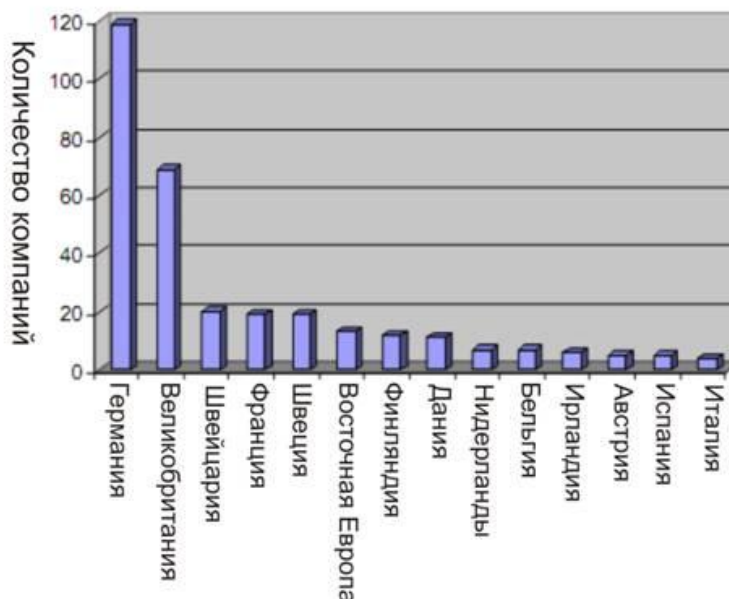


Рис. 3.2 – Количество компаний, работающих с нанотехнологиями в различных европейских странах

Большинство этих компании частные, либо имеют в своей основе государственно-частное партнерство. Многие фирмы созданы на базе научно-исследовательских лабораторий, некоторые при университетах и крупных предприятиях.

На рисунке 3.2 представлены финансовых затраты нанотехнологических компаний по странам ЕС, и сравнение их с аналогичными показателями стран Восточноазиатского региона [59].

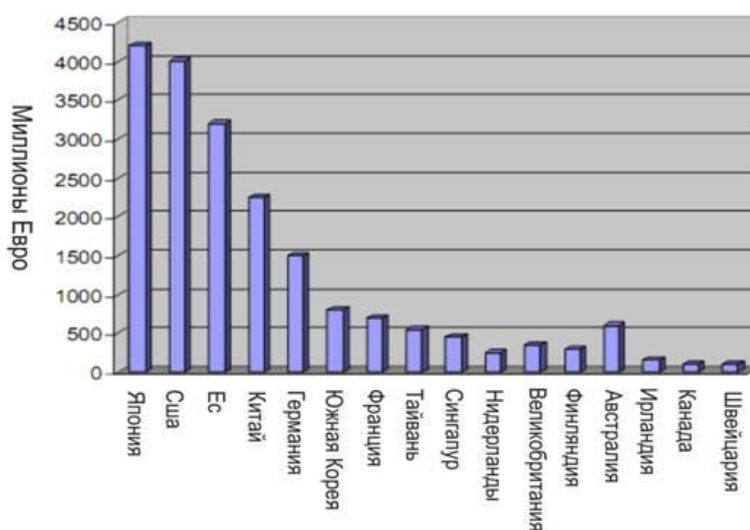


Рис. 3.3 – Средства, выделяемые в мире на развитие нанотехнологий

Франция

Оборонные предприятия особое внимание уделяют развитию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, на которые приходится 14 процентов годового оборота. В число приоритетных исследовательских программ входят исследования в области военной авиации и космоса, радиоэлектронной разведки.

Генеральная дирекция по вооружению *DGA* является агентством в структуре Министерства обороны Франции, которая выступает основным государственным инвестором в области высоких технологий завтрашнего дня. В ее структуру входят 14 подведомственных исследовательских центров в области информационных технологий, ракетных технологий, реактивного движения, гидродинамики, военно-морского вооружения и др. Кроме того, *DGA* участвует в управлении вузами Эколь Политехник, ENSTA ParisTech, Supaéro, ENSTA Bretagne и ENSICA. Выпускники этих вузов становятся офицерами, сотрудниками научных центров и высокотехнологичных предприятий.

Совокупно в данных центрах работает около 8 000 человек, суммарный объем финансирования – более €700 млн., из них на инвестиции в последнюю стадию (технологические работы) приходится €165 млн.

В рамках программы «Прометей» *DGA* выделяет средства на исследование новой ракеты для замены ASMP-A. В частности, ведутся испытания гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ГПВРД), первый полет демонстратора, которого запланирован в 2014 году [60].

Германия

Германия участвует в совместной программе со странами ЕС и США по созданию ЗРК средней дальности MEADS (Medium Extended Air Defense System). Доля ее финансового участия в программе составляет 25%, США – 58%, Италии – 17%. Этот комплекс предназначается для решения широкого спектра задач борьбы с тактическими баллистическими ракетами, крылатыми ракетами, тактическими ракетами класса «воздух - поверхность», самолетами и вертолетами [61].

Центр аэрокосмических исследований *DLR* в Брауншвайге проводит исследования по композитным конструкциям в т. ч. на основе нанокompозитов в рамках Европейской программы EP7.

Восточноазиатский регион

Китай

Государственное управление по оборонной науке, технологиям и промышленности (*ГУОИТП SASTIND* - ведомство Государственного совета КНР в составе Министерства

промышленности и информатизации координирует весь комплекс работ в области новых материалов для ВВСТ. Управление создано в рамках реформирования Государственного комитета по оборонной науке, технике и промышленности в 2008 году. Структура управления не раскрывается, но как полагают, под его началом находятся: Агентство по атомной энергии Китая (САЕА), Национальное космическое Управление Китая (СНСК), семь университетов (включая Пекинский технологический институт), более 10 промышленных производственных предприятий.

Основными организациями, выполняющими работы для ОПК являются Национальный Центр нанотехнологий (*National Center for Nanoscience and Nanotechnology*); НИИ Химии АН КНР (*Institute of Chemistry Chinese Academy of Science*); НИИ Физики АН КНР (*Institute of Physics Chinese Academy of Science*); НИИ Технологий АН КНР (*Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Science*).

Китай добился скачка в развитии нанотехнологий и стал одной из нанотехнологических держав мира. В период 11-й пятилетки Китай выделил около \$800 млн. на нанотехнологические исследования, что более чем в четыре раза превышает аналогичную цифру 10-й пятилетки. В годы 11-й пятилетки в стране были созданы три центра нанотехнологических исследований – Пекинский национальный центр по изучению нанотехнологий, Тяньцзиньский национальный научно-исследовательский институт нанотехнологий и инженерии и Шанхайский национальный инженерный центр нанотехнологий [62].

Израиль

Основными участниками разработок в области новых материалов являются предприятия-производители ВВТ, среди которых лидирующие позиции занимают государственные корпорации, сведенные в три основных объединения: *Israel Aerospace Industries (IAI)*, *Israel Military Industries*, *Rafael Advanced Defense Systems*, компания *Tadiran*. IAI объединяет 17 крупных компаний, основные из которых - "МЛМ" (противоракетные комплексы), "Элбит" (навигационное оборудование), компании "Эльта" (электроника), "МЛТ" (беспилотные летательные аппараты), "Мабит" (компьютерные системы, авиационные боеприпасы).

В отличие от других стран, у Израиля нет военных лабораторий, поэтому многие исследования проводятся в научно-исследовательских институтах и частных компаниях. Следует заметить, что большая часть военной продукции (75%) является экспортной. ВПК Израиля представлен ракетно-космической, авиационной, бронетанковой, артиллерийско-стрелковой, кораблестроительной и радиоэлектронной отраслями. Наибольшее развитие

получило производство ракетного и артиллерийско-стрелкового вооружения, бронетанковой и авиационной техники и радиоэлектронных изделий [63].

Приоритетные направления исследований в Израиле включают:

- нанотехнологии (в том числе метаматериалы),
- средства снижения заметности и маскировки объектов инфраструктуры,
- снаряжение военнослужащих, информационные технологии и кибербезопасность,
- активные способы противодействия поражающим факторам,
- робототехнические системы и БПЛА, аэродинамика,
- системы интеллектуальных зданий,
- квантовые технологии (особенно в приложении создания сверхчувствительных датчиков),
- системы и средства индивидуальной и коллективной защиты личного состава,
- адаптивные системы управления и интерфейс «мозг-компьютер»,
- военная медицина,
- ракетные топлива, пороха и компоненты.

Индия

Организация оборонных исследований и разработок (*Defence Research & Development Organisation*) – федеральное агентство Индии, ответственное за разработку военных технологий [62].

В настоящее время научно-техническую базу составляет сеть из лабораторий, которые активно участвуют в разработке новых материалов и технологий из таких областей, как авиация, системы вооружения, электроника, компьютерные науки, науки о жизни, материалы, ракетная техника, военно-морские исследования. В структуру организации также входят институты подготовки и переподготовки кадров и испытательных полигонов.

В программах организации участвуют более 5000 ученых и около 25 000 человек научного, технического и вспомогательного персонала.

3.3.3 Исследования в области конструкционных наноматериалов в России

Россия, к сожалению, в группу лидеров не входит – на ее долю приходится менее 2% мировых расходов на НИОКР, из них расходы на разработку новых материалов составляют незначительную часть. За последние 20 лет техническое развитие значительно затормозилось. Это привело к отставанию в технологиях создания ВВТ (что обусловлено хронической нехваткой финансирования НИОКР, особенно фундаментальных и поисковых) и усилению конкуренции на традиционных для России рынках вооружений со

стороны ряда развивающихся государств, активно наращивающих возможности национальной промышленности, в том числе, с использованием технологий, полученных в ходе сотрудничества в военно-технической области с ведущими западными государствами.

До 2020 года на развитие Вооруженных Сил, развитие и модернизацию производственных мощностей предприятий ОПК планируется выделить огромные средства – около 20 трлн. рублей. Из них более 80% планируется направлять на закупку, производство и разработку нового вооружения, базой создания которого являются новые материалы. [63].

В течение трех лет в рамках ФЦП «По разработке и производству стратегических, импортозамещающих материалов и малотоннажной химии для вооружения, военной и специальной техники на период до 2015 года» выполнен определенный объем работ по развитию технологий и организации производства материалов в интересах выполнения государственной программы вооружения. При этом создан ряд новых производств, разработаны перспективные материаловедческие технологии, позволяющие организовать с 2011 года серийное производство отдельных необходимых материалов, в т. ч. наноматериалов конструкционного класса.

В области наноматериалов конструкционного назначения основными российскими исследовательскими центрами являются ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» и ФГУП «ВИАМ».

Наноцентр ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» оснащен более чем 60 единицами уникального технологического и диагностического оборудования. Благодаря уникальному оборудованию Наноцентра и высококвалифицированному кадровому потенциалу стало возможным решение широкого спектра задач – от разработки научных основ до создания и испытания конструкционно-функциональных элементов на основе наноматериалов. Это позволяет решать межотраслевые задачи и проводить комплексные исследования и разработки в области наноматериалов и нанотехнологий для последующего применения их при создании широкополосных систем электромагнитной защиты; нанокатализаторов для водородной и альтернативной энергетики; износостойких и коррозионно-стойких покрытий для защиты элементов прецизионного приборостроения; 3D-изделий особо сложной формы широкого спектра применения.

Научные разработки института обеспечивают создание «прорывных» технологий, определивших лидирующие позиции российской науки и техники. В связи с этим следует отметить результаты реализации важнейших инновационных проектов государственного

значения «Металл» и «Магистраль», возможность работать над которыми институт получил, победив на всероссийских конкурсах в 2003 и 2007 годах.

В работе над проектом «Металл» впервые в отечественном материаловедении были перенесены в промышленность фундаментальные основы создания конструкционных материалов с элементами наноструктуры при термопластическом воздействии и обеспечено их наследование в конечной структуре сталей после полиморфного превращения. К решению этой проблемы были также привлечены ведущие материаловедческие институты страны: ЦНИИ Чермет им. И. П. Бардина, Институт металлургии и материаловедения РАН им. А. А. Байкова, Институт физики металлов Уральского отделения РАН, Санкт-Петербургский политехнический университет и ряд других. В результате была создана новая серия сталей для конструкций, работающих в экстремальных условиях Арктики.

«ВИАМ» - Крупнейший отечественный центр исследований и разработок в области авиационно-космических материалов. Созданный в институте наноцентр за счет современной инфраструктуры позволяет проводить комплексные исследования по освоению полного цикла работ: фундаментально-прикладные исследования – разработка – опытное производство – серийное производство. Фундаментально-ориентированные исследования направлены, в основном, на создание научных основ сочетания различных классов материалов в конструкции. На основании исследований тонкой структуры конструкционных, функциональных и защитных покрытий из высокопрочных сталей, алюминиевых, титановых и магниевых сплавов, металло- и полимероматричных композитов (в т.ч. наномодифицированных композитов) разрабатываются инновационные технологии их получения и обработки для обеспечения эффективной эксплуатации в условиях температурно-силового нагружения, максимально приближенных к конкретным условиям. Следует особо отметить комплексные исследования в области тугоплавких сплавов на основе Co, W, Mo, Ti, Nb, Ta, а также ионно-плазменных защитных и упрочняющих наноструктурированных покрытий для лопаток ГТД.

Оборонная промышленность - одна из самых наукоемких отраслей. Большинство передовых технологий и изобретений появляются именно в этой области. В ряду результатов прорывных материаловедческих технологий, которые принципиально изменяют облик современной войны, успешно разрабатываемых зарубежными компаниями в настоящее время, можно выделить создание следующих видов материалов: углеродные волокна, арамиды, керамические, композиционные, полимерные, негорючие материалы,

наноматериалы. Ниже рассмотрены целевые назначения указанных материалов и их характеристики.

Кроме работ «ЦНИИ КМ «Прометей» и «ВИАМ» следует отметить также работы отечественных специалистов в области пулестойких наноструктурированных материалов.

К пулестойким материалам следует отнести следующие виды материалов:

- высокопрочные качественные стали с большой вязкостью и относительным удлинением, в т.ч. наноструктурированные;
- дисперсионно упрочнённые сплавы меди;
- высокопрочные композиционные материалы с матрицей из титановых сплавов;
- высокопрочные композиционные материалы с бериллиевой матрицей;
- композиционные материалы, упрочненные волокнами металлов и нитевидными кристаллами, дисперсными наночастицами;
- взрывчатые вещества активного бронирования с наномодификаторами;
- пластики, наполненные ориентированными волокнами углерода, оксида алюминия, волокнами бора, нанопорошками различных классов;
- пластики, упрочнённые высокопрочными волокнами и с распределёнными полостями, наполненными водой или вязкими жидкостями.

Основную роль в обеспечении пулестойкости играют керамические матрицы.

Используя наноструктуры из карбида кремния, ученым удалось втрое повысить жесткость материалов на основе обычного SiC. В российском объединении ОНПП «Технология» при участии ОАО «НИИ стали», ОАО «НЭВЗ-Союз», ЗАО «Алокс», ООО «Вириал» на основании фундаментально-прикладных работ ИОНХ РАН (г. Москва) удалось создать защитные структуры 6а класса из карбида кремния на подложке сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Возможно применение и композитных материалов на основе отечественных арамидных тканей, но масса и стоимость их в значительной степени превышают аналогичные показатели полиэтиленовых панелей. Совместными усилиями удалось значительно улучшить ее качество и довести практически до уровня западных образцов.

Защита от средств поражения на основе сплавов вольфрама требует нестандартных конструктивных решений. Значимый эффект в данном случае имеет место лишь при использовании элементов из карбида кремния. Так, применение керамических блоков из реакционно-спеченного карбида кремния при защите от подкалиберных снарядов малокалиберных автоматических пушек с сердечником из ВНЖ позволяет снизить вес преграды на 25–30 процентов. При сопоставлении стоимости керамических

бронезащитных элементов различных производителей отмечаются следующие тенденции: за границей цена корунда среднего качества колеблется от 10 долларов США за килограмм (Китай) до 20 (Германия – фирма Barat, Италия – фирма Bitossi), в России – от 17 до 35 [65]. Серийный выпуск карбидокремниевых керамических бронезащитных элементов в нашей стране пока организован только в Санкт-Петербурге (ООО «Вириал»). Стоимость бронезащитных элементов составляет \$150–180 долларов США за килограмм.

Для придания обшивке свойств брони целесообразно использовать ткань на основе арамидного волокна, известного под названием «Кевлар» [66]. В других участках, подверженных предельным нагрузкам, — например, в опорах для машин и оружия — применение подобных материалов оправдано тем, что львиная доля энергии впитывается гнущимся материалом вокруг зоны удара, освобождая всю конструкцию от большей части ударной нагрузки. За счет этого могут быть достигнуты уменьшение веса и большая эластичность структуры, и, как следствие — увеличение полезной нагрузки и облегчение обслуживания. Арамид (aramid, или aromatic polyamide) или ароматический полиамид представляет собой синтетическое волокно. Арамидные волокна и нити используются сегодня как в чистом виде, так и в композиционных материалах на основе различных смол. Синтетическое волокно арамида при малой плотности обладает сопротивляемостью ударам и динамическим нагрузкам с высокой механической прочностью. При этом оно обладает очень высокой термической стойкостью и не теряет своих свойств в условиях высоких температур (до 600-800 °С). В составе композиционных материалов арамид используется в качестве армирующего материала, обладающего высокой удельной прочностью при растяжении и минимальным весом [67].

Наиболее характерная ситуация в области конструкционных наноматериалов может быть прослежена на примере исследований и разработок в области дисперсных композиций, получаемых методами высокоскоростного и высокоэнергетического механосинтеза.

3.3.4 Разработка научно-технологических основ механохимического синтеза конструкционных, функциональных и керамических материалов

Влияние механического воздействия на протекание химических реакций является одной из операций, известных человечеству с самых первых шагов становления цивилизации. Бурное развитие механохимии в последнее десятилетие стало возможным благодаря успехам фундаментальных исследований, совершенствованию ряда технологических процессов, в том числе синтеза новых материалов. Не меньшее значение имели пересечения механохимии со смежными областями знаний, такими как физика и

химия твердого тела, теория прочности, физико-химическая механика, катализ, химическая технология, материаловедение, геология, биохимия, химия лекарственных веществ и др. Применение методов механохимии в технике (в производстве строительных материалов и керамики, в том числе сверхпроводящей, в порошковой металлургии, пищевой и фармацевтической промышленности и т.п.) также привлекли к механохимии внимание исследователей и технологов.

3.3.4.1 Современное состояние и тенденции развития фундаментальных научных исследований в области механохимических технологий

Широкие возможности механохимии как химии нетепловых низкотемпературных реакций иллюстрирует тот факт, что в твердой фазе без растворения или плавления реагентов были синтезированы тугоплавкие вещества и интерметаллиды, неорганические и органические соединения, молекулярные комплексы, модифицированы полимеры и фармацевтические препараты, созданы композиционные материалы. Механохимические синтезы осуществляются при сравнительно низкой температуре, когда формирование совершенной кристаллической структуры затруднено. Это открывает путь к синтезу веществ и материалов в нанокристаллическом и аморфном состояниях [68].

Механическое воздействие на вещество обычно представляет некоторую комбинацию давления и сдвига [69]. Круг исследований, посвященный влиянию давления на физико-химические свойства твердых веществ, непрерывно расширяется. Причем в последнее время четко прослеживается тенденция к усилению подобного рода исследований молекулярных кристаллов. Связано это, по-видимому, с большими возможностями, которые открывает это направление в понимании механизма межмолекулярных взаимодействий в биологических объектах, а также в изучении молекулярных кристаллов, используемых в качестве функциональных материалов, и их модифицирования (например, превращение органического ферромагнетика в антиферромагнетик) [69].

Важной областью исследований являются исследования влияния давления на биохимические объекты. Таким образом была, например, получена ценная информация о карбонилкарбонильных взаимодействиях, что важно для понимания β -складок и α -спиралей в белках [70], изучены структурные изменения в нуклеиновых кислотах [71]. Особого внимания заслуживают исследования по механохимическому твердофазному синтезу в системах органических соединений. Пока механизм этих процессов, как, впрочем, и механизм твердофазных реакций между органическими твердыми веществами, изучен гораздо в меньшей степени, чем это имеет место в неорганическом синтезе.

Если продукт реакции механически активируемого вещества твердый, то после хемосорбции на активных центрах происходит образование и последующий рост зародышей с образованием на поверхности слоя продукта. В силу того, что активирование процесса осуществляется не термически, делаются предположения о возможности протекания в условиях механической активации таких процессов, которые запрещены термодинамически, например, окисление металлического золота диоксидом углерода [72]. После того, как слой продукта образовался, в зависимости от соотношения молекулярных продуктов и исходного вещества процесс будет продолжаться в кинетическом режиме или перейдет в диффузионную область.

В последнее время твердофазные процессы, инициируемые механическим воздействием, стали предметом интенсивных исследований. Причиной этого являются, по-видимому, перспективы использования таких реакций в технике, в особенности в связи с созданием новых нетрадиционных, так называемых сухих, технологических процессов более экологически чистыми и экономически более выгодными по сравнению с существующими [73].

Механохимическое сплавление может быть использовано для получения интерметаллидов и твердых растворов в метастабильном состоянии. Механохимически можно существенно сдвинуть границы твердых растворов замещения значительно за пределы, устанавливаемые для равновесного состояния. Так, согласно диаграмме равновесия предельная растворимость алюминия в никеле равна 13,5 атомных процентов при 1000 °С, при 500 °С она уменьшается в 3,5 раза и становится равной долям процента при комнатной температуре. Механохимически удастся получать твердые растворы алюминия в никеле с содержанием алюминия до 28 атомных процентов [74].

Механохимические твердофазные реакции молекулярных кристаллов являются одним из новых и важных направлений исследований в связи не только с такими традиционными областями применения молекулярных кристаллов, как, например, фармацевтика, но с открывшимися недавно возможностями применения этих кристаллов в молекулярной электронике, молекулярных магнетиках и других видах функциональных материалов.

При суммировании результатов многочисленных работ в области механохимии можно выделить несколько направлений фундаментальных исследований, с которыми связано развитие и дальнейший прогресс в этой интересной и перспективной области знаний. Прежде всего, к ним относятся:

- раскрытие молекулярных механизмов деформации простых и сложных веществ,

а также их смесей с выяснением природы промежуточных неравновесных состояний;

- кинетическое описание процессов механической деструкции, миграции атомов и молекулярного перемешивания, химических реакций с формированием новых кристаллических или аморфных структур в условиях деформирования и диссипации энергии;
- изучение взаимосвязи между тепловыми и нетепловыми реакциями, в которых энергетический барьер преодолевается либо по термофлуктуационному механизму, либо под действием упругих напряжений.

Все вместе эти направления складываются в проблему систематического описания законов химических превращений в условиях совместного действия механических и химических сил.

3.3.4.2 Ведущие научные центры в этой области в мире и России и характеристика направлений фундаментальных научных исследований, соответствующих глобальным научно-технологическим приоритетам, проводимым в них.

В РФ можно выделить несколько центров, в которых проводятся исследования по механохимии:

- Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток.
- Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск.
- Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, г. Москва.
- НИТУ «МИСиС», г. Москва.
- Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск.

В настоящее время интерес к механохимии не ослабевает, наоборот, круг ученых, вовлеченных в исследования по механохимии и механической активации, расширяется, а число публикаций в этих областях стремительно увеличивается. Новые механохимические центры появились во Франции, Италии, Германии, США, Китае, Южной Корее, Японии, Индии, Канаде.

Германия

Различные, частично взаимодополняющие и частично избыточные, методы определения характеристик были применены для изучения перехода порошков магнетита, графита и MoS_2 в механически легированные наноструктуры [75]. Главной задачей было подготовить модельный материал, обеспечивающий существенные черты типичного формирования трибологической пленки при торможении автомобиля, а также для оценки влияния различных составляющих на поведение скольжения и уровень трения. Независимо от исходного размера зерен сырью была придана нанокристаллическая структура и оно было смещено в нанометрическую шкалу в высокоэнергетической

шаровой мельнице. В то время как магнетит практически не изменился, графит и дисульфид молибдена были преобразованы в нанокристаллические и весьма неупорядоченные структуры. Наблюдаемое увеличение коэффициента трения была приписано к потере смазывающей способности последнего ингредиента из-за этой трансформации и последующего окисления.

В работе [76] показан способ получения нового ультрамелкозернистого алюминиевого сплава, армированного цинк-ферритом. Смесь порошков, состоящих из коммерческого 5083 алюминия и цинка феррита ($ZnFe_2O_4$) была механически легирована путем размолла в высокоэнергетической шаровой мельнице (Simoloyer®). Полученные композитные хлопья содержат цинк-феррит в виде небольших примесей. После прямой горячей экструзии размер зерна в компактных цилиндрических стержнях был примерно 200-250 нм. Первые результаты механических испытаний раскрыли потенциал этого вида ультрамелкозернистых алюминиевых сплавов: предел текучести был увеличен до 500 МПа при разумных значениях пластичности (удлинение до разрушения от 5 до 9%). Считается, что мелкодисперсные керамические частицы стабилизируют микроструктуру даже при повышенной температуре, что позволяет производить высокопрочные жаропрочные алюминиевые сплавы.

В работе [77] измельчение в шаровой мельнице (ШМ) смешанных элементарных порошков Ni и Cr проводили на приборе Simoloyer на высокоэнергетическом режиме при максимальной производительности для получения наноструктурного сплава Ni-20Cr. Были рассчитаны постепенная растворимость Cr и последующее формирование кристаллических метастабильных твердых растворов, описанных в рамках кинетической модели Аврами-Ерофеева. Эволюция микроструктуры показала складывание пластин слоев на заключительном этапе обработки. ОМ наблюдения показали, что расстояние между слоями в зонах, богатых Ni, достигает устойчивого значения вблизи 500 нм и почти исчезает через 30 ч измельчения.

В работе [78] измельчение в шаровых мельницах используется в качестве легкого, эффективного, дешевого и экологически чистого метода для трехкомпонентной реакции ароматических альдегидов с малонитрилом и димедоном, или 1,3-циклогександионом, резорцином и α - и β -нафтолом без растворителя. Реакции происходят при комнатной температуре путем размолла стехиометрических смесей реагентов в присутствии 10мольных% Na_2CO_3 . Этот метод предлагает преимущества короткого времени реакции, низкой стоимости, количественного выхода и простой обработки без необходимости какого-либо органического растворителя. Таким образом это экологически-экономичный метод без производства опасных отходов.

В работе [79] представлен систематический обзор разнообразных методов использования измельчения металлов в соответствии с типами реакций. Механическое легирование металлических материалов подразделяется на получение твердых растворов несмешивающихся металлов, металл-металл нанокompозитов и интерметаллидов (кристаллических и аморфных). Последнее, в свою очередь, подразделяется на хрупко-хрупкое, хрупко-пластичное и пластично-пластичное получение комбинаций и, затем, жаропрочных композитов. Бинарные сплавы в основном используются в качестве пояснительных примеров для того, чтобы ограничить уже огромное поле материалов. Различные методики снижения чрезмерно длительного времени измельчения станут очевидными из механистических соображений. Оптимальный выбор температуры в тепло-контролируемых мельницах с участием модернизации и регулируемых условий измельчения является существенным. Это в равной степени важно для измельчения и для пластичного замешивания.

В работе [80] обобщены результаты многолетних исследований по изучению природы механохимических процессов в неорганических и органических твердых веществах, протекающих при воздействии высокоэнергетического измельчения и высоких давлений в специально созданных аппаратах. Приведены результаты исследований изменения структуры, электронных и магнитных свойств и реакционной способности твердых тел под влиянием механической активации и высоких гидростатических давлений и сдвиговых деформаций, процессов образования новых и разупорядоченных фаз в практически важных неорганических и органических (лекарственных) веществах. Исследованы закономерности и механизмы протекания механохимических реакций в смесях неорганических и органических соединений. Рассмотрены современные тенденции в развитии исследований механохимических процессов.

Япония

В работе [81] порошки сплава $\text{Al}_{86}\text{Ni}_7\text{Y}_{4.5}\text{Co}_1\text{La}_{1.5}$ (мольная доля, %), полученные распылением аргоном, подвергали размолу в высокоэнергетической шаровой мельнице, после порошок был консолидирован путем вакуумного спекания в горячем прессе и искрового-плазменного спекания (SPS) при различных условиях процесса. В работе показано, что аморфная фаза появляется при размолу в шаровой мельнице, когда время синтеза составляет более 100 ч, а образец после консолидированная путем SPS может содержать аморфную / нанокристаллической микроструктуру, но имеет более низкую относительную плотность. Прочность на сжатие 650 МПа у наноструктурных образцов $\text{Al}_{86}\text{Ni}_7\text{Y}_{4.5}\text{Co}_1\text{La}_{1.5}$ достигается путем вакуумной горячей экструзии (VHE).

В работе [82] алюминиевые композиты с матрицей, усиленной углеродными нанотрубками (УНТ) были изготовлены методом механического размола. Коммерческий сплав Al-2024 с 1% УНТ измельчали в различных условиях в шаровой мельнице. В работе изучалось влияние концентрации УНТ и времени измельчения на микроструктуры УНТ / Al-2024 композитов. На основании структурного наблюдения обсуждалось поведение формирования наноструктуры порошка в шаровой мельнице. Результаты показывают, что увеличение времени измельчения и скорости вращения для фиксированного количества углеродных нанотрубок, вызывает уменьшение размера частиц порошков в результате механического измельчения. Наименьший размер частиц был получен через 15 ч измельчения. Кроме того, композит имел увеличение прочности на разрыв из-за небольшого количества углеродных нанотрубок.

В работе [83] оценили эффект высокой объемной доли частиц V_4C (> 20 об.%) на микроструктуру и поведение механических свойств композитов с матрицей Al-2024. Композиты были изготовлены путем совместного механического размола матрицы и армирующих компонентов с последующей горячей экструзией. Механический размол привел к значительному измельчению зерна матрицы Al-2024 (~ 35,4 нм). После консолидации при 823 К, размер зерен матрицы алюминия вырос частично, в то время как зерна около частиц V_4C все еще находятся в нано-масштабе из-за большой разницы в коэффициентах теплового расширения между матрицей и армирующей фазой. Микротвердость и прочность на сжатие композитов, армированных частицами V_4C составляют 260 и 950 МПа, соответственно, что почти в два раза выше, чем у матрицы. Улучшенные механические свойства были получены благодаря измельченной микроструктуре матрицы и однородной дисперсии частиц V_4C .

В работах [84] гармонично-структурированный композит с чистым титаном (Ti) и сплавом Ti-48%Al (Ti48Al) были изготовлены с помощью комбинации механического размола (MP) и процесса искрового плазменного спекания (SPS). Полученный композит имеет мелкозернистую структуру сплава Ti-Al и дисперсные области Ti с грубой зернистостью. Результат PCA показывает, что композит содержит Ti, Ti-Al и Ti_3Al фазы. Полученный композитный материал демонстрирует высокую прочность и достаточную пластичность по сравнению с обычным компактным материалом, состоящим из Ti-48Al.

В работе [85] композит, который состоит из сети мелкозернистых областей быстрорежущей сталей и диспергированной крупнозернистой области с низкоуглеродистой сталью, был изготовлен с использованием механического размола. Полученный композит обладает высокой прочностью и достаточной пластичностью по

сравнению с обычным композитом с диспергированными частицами и тем же весовым соотношением быстрорежущей стали / низкоуглеродистой стали.

В работах [86, 87] показано, что обработка методом механического измельчения (МИ) порошков W и W-Re позволяет легко сформировать нанозернистую структуру в материалах, даже если они имеют высокую температуру плавления. Механизм формирования нанозерна в этих порошках состоит в следующем: мультиосевая деформация порошков при измельчении, при наибольшей температуре в 333 К, на начальном этапе приводит к образованию слоистой структуры. Чрезвычайно плотные дислокации влияют на разделение зерен, и, наконец, формируется наноструктура зерна с высокоугловыми границами. Получаются нанозерна с примерным размером в 10 нм. Также исследованы поведение МИ порошков при спекании и воздействии высокой температуры деформации. Влияние МИ позволяет спекать порошок W при 1273 К, в то время как порошок без МИ никогда не мог спекаться при той же температуре. Re-добавка предотвращает рост зерен при спекании и, таким образом, увеличивает твердость прессовок.

США

В работе [88] механическое сплавление бинарных Nb-Zr порошковых смесей проводили для оценки образованию метастабильных фаз данной несмешивающейся системе. Было показано, что при измельчении порошковой смеси в течение примерно 10 ч образуется аморфная фаза. С увеличением длительности процесса до 50-70 ч происходит кристаллизация аморфной фазы, что называют механической кристаллизацией. Представленные термодинамические и структурные характеристики, объясняют образование аморфной фазы и ее последующую кристаллизацию.

В работе изучали механическое легирование алюминиевых сплавов на основе системы Al-Si-Mg с углеродными нанотрубками (УНТ) с использованием планетарной шаровой мельницы. Механическое легирование осуществляли в течение 1, 3, и 5 ч для исследования распределения УНТ. Было исследовано влияние содержания углеродных нанотрубок (от 0,5 до 2 мас%) и времени механолегирования на микроструктуру композита. Размер кристаллитов и накопленные внутренние напряжения увеличивается со временем механолегирования, и минимальный полученный размер зерна около 100 нм. Результаты показали, что после механолегирования углеродные нанотрубки равномерно распределены в матрице алюминиевого сплава вне зависимости от длительности процесса и концентрации УНТ.

В работе [89] ультрамелкозернистых керамические композиты из Ti-31.6Al-21.6Si (вес. %), состоящие из 60 об.% γ -Ti₅Si₃ и 40 об.% γ -TiAl были получены механическим

легирование в шаровой мельнице с последующим горячим изостатическим прессованием (ГИП). Из-за чистоты порошка и полного уплотнения продукта при ГИП, механические свойства композита определяются микроструктурой и химическим составом. Микроструктура после ГИП состояла из γ -Ti₅Si₃ и γ -фазы TiAl, приблизительно одинакового размера, размером от 300 нм до 1 мкм в зависимости от температуры ГИП. Равноосная микроструктура была сохранена после механических испытаний, что свидетельствует о возможности достижения сверхпластической деформации, что подтверждено испытаниями на растяжение: удлинение около 150% при 950 °С и скорости деформации $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

В работе [90] путем механического легирования были синтезированы сплавы на основе Al армированные разным количеством (5, 12 и 20 мас.%) наноразмерных частиц SiC. Распределение армирующей фазы в композите была оценена как функция от времени помола и количества SiC. С увеличением времени механолегирования наблюдалось непрерывное уменьшение размера кристаллитов и после 20 размером кристаллитов <100 нм. Полученные порошки Al-SiC были консолидированы методом SPS при различных температурах спекания 400, 450 и 500 °С.

В работе [91] методом механического легирования в высокоэнергетической шаровой мельнице SPEX 8000 был синтезирован ReB₂. В качестве исходных компонентов использовали порошки кристаллического Re и аморфного В. Время механического легирования 80 ч.

В работе [92] методом механического легирования были синтезированы сплавы систем Al-Al₂O₃, TiAl-Ti₅Si₃, и MoSi₂-Si₃N₄. Показано, что данная технология позволяет получать нанокompозиты с характеристиками значительно лучше, чем у монолитных материалов.

3.3.4.3 Выделение наиболее перспективных и приоритетных направлений развития фундаментальных научных исследований на среднесрочную перспективу до 2020 года (мировые тренды) и далее до 2025 года

Разработка технологий получения перспективных порошковых материалов на основе механохимического синтеза, интенсивной пластической деформации, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и синтеза из аморфного состояния.

Решение фундаментальных проблем физики и химии механоактивированных наноструктурированных и нанокompозиционных материалов, полученных при механоактивации и интенсивной пластической деформации; механоактивированных

наноразмерных молекулярных кристаллов. Создание прочных, жестких, трещиностойких, износостойких, жаропрочных, крипостойких, жаростойких материалов, в том числе композитных - на основе высокопрочных армирующих компонентов (оксидных и других волокон, нанотрубок и т.п.) и металлических, интерметаллидных и керамических матриц для применения в несущих конструкциях и энергетических установках космической, авиационной техники и машиностроении. Повышение динамической прочности материалов и разработка технологий легкой прозрачной брони.

Построение определяющих уравнений, включая кинетические, с параметрами, характеризующими структуру материала, для процессов интенсивной пластической деформации при механолегировании. Оптимизация технологических процессов интенсивной пластической деформации получения объемных наноструктурных материалов с учетом образования микро - и наноразмерных дефектов в технологиях механолегирования с последующим СПС.

Разработка научных основ волновой механохимии для повышения прочности строительных материалов и снижения энергоемкости их производства и принципов действия волновых строительных машин и аппаратов.

Разработка физико-химических основ и высокоэффективных методов получения новых конструкционных металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов, включая наноматериалы с рекордно высокими механическими свойствами (удельная прочность, износостойкость, твердость, пластичность и др.); высокой жаростойкостью и жаропрочностью; высокой коррозионной стойкостью для машиностроения и авиации, превосходящие существующие аналоги. Создание материалов, в том числе азотсодержащих коррозионностойких сталей, обеспечивающих работу изделий в экстремальных условиях для авиационной и ракетно-космической (в том числе гиперзвуковой) техники, судостроительной промышленности, высокоскоростного транспорта, энергетики (в особенности ядерной и водородной); коррозионно-стойких материалов и покрытий, обеспечивающих повышение антикоррозионной стойкости в 3-10 раз; новых сверхпрочных металлических материалов, обеспечивающих повышение надежности и долговечности устройств в 1,5-2 раза по сравнению со штатными. Установление закономерностей формирования их структуры, развитие теории и прикладных аспектов упрочнения и формоизменения конструкционных материалов.

Разработка методов синтеза нанокристаллических сверхтугоплавких соединений (оксидов, карбидов, нитридов, боридов), обладающих температурой плавления $2300^0 - 4000^0\text{C}$, а также карбида кремния, сложных карбидов в системе Ti-Si-C и композиционных материалов на их основе для использования в гиперзвуковых летательных аппаратах.

Разработка научных основ энергоресурсосберегающих механохимических технологий получения наноструктурных строительных материалов с уникальным комплексом функциональных и конструкционных свойств Разработка механохимических технологий получения наноструктурных строительных материалов с уникальным комплексом функциональных и конструкционных свойств.

Разработка научных основ энергоресурсосберегающих механохимических технологий переработки бытовых и техногенных отходов.

Разработка кинетических основ описания процессов механической деструкции, миграции атомов и молекулярного перемешивания, химических реакций с формированием новых кристаллических или аморфных структур в условиях деформирования и диссипации энергии.

Механохимические исследования дают вклад в фундаментальное научное знание и решают многие практические проблемы синтеза и модифицирования веществ, совершенствования технологии производства и механической обработки материалов. Механохимические методы применяют в многотонажных производствах (пластификация каучуков, синтез строительных и жаропрочных материалов, приготовление растворов для бурения и др.) и в узкоспециальных областях (например, ультразвуковое приготовление вакцин). Другое важное направление механохимических исследований - предотвращение нежелательных последствий реакций, вызывающих преждевременный выход из строя механизмов, узлов или отдельных деталей, работающих в условиях интенсивных механических нагрузок. Достижения механохимии важны для развития химии твердого тела, кинетики твердофазных реакций, физики прочности и долговечности, теории старения полимеров, физико-химической механики, ряда проблем геохимии, биохимии, биофизики.

3.3.4.4 Характеристика участия научных коллективов и научных организаций Петербурга в мировых трендах развития наиболее перспективных направлений фундаментальных научных исследований

В Санкт-Петербурге исследования по механохимии проводятся в ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ФГАОУ ВО «СПбПУ», ФГБОУ ВПО «СПбГТИ(ТУ)», ФГБОУ ВПО «СПбГУ».

Основные направления фундаментальных научных исследований ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей».

В ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» создан научно-технологический механоактивационный комплекс установок, предназначенный для получения, обработки и

исследования свойств дисперсных материалов различного класса (каталитических, магнитных, износостойких, вибродемпфирующих), с управляемым фракционным составом. Научно-технический комплекс оснащен уникальными высокоскоростными дезинтеграторными установками, обеспечивающими получение наноструктурированных порошковых материалов в воздушной, инертной средах и в вакууме. Установки с частотой вращения роторов до 24 000 мин⁻¹. Эти установки лишены основных недостатков устройств, основанных на истирающем принципе получения порошков, и, кроме того, обладают рядом преимуществ – высоким КПД и минимальным временем воздействия на материал. Аналогичные дезинтеграторные установки существуют за рубежом в ведущих научно-исследовательских центрах, занимающихся исследованием и производством порошковых материалов США и Японии. Особенностью этих установок является возможность обработки материалов только в воздушной среде. Преимуществом дезинтеграторных установок, входящих в состав научно-технологического механоактивационного комплекса, является возможность обработки материалов в инертной среде и в вакууме, что позволяет работать с материалами, обладающими пирофорностью.

Отрасли применения:

– Машиностроение.

– Материаловедение:

* Дисперсные порошки из металлов и сплавов с аморфной и нанокристаллической структурой магнитного, каталитического и трибологического классов;

* Сплавы-припой.

– Медицина:

* Лекарственные вещества с регулируемой скоростью растворения и адсорбции;

* Питательные смеси для больных в период реабилитации;

* Малотоксичные препараты с заданной биологической доступностью и уменьшенной эффективной дозой;

* Дисперсные компоненты из растений и трав для косметики и парфюмерии.

– и др.

Метод позволяет производить обработку (измельчение и активацию) материалов:

- металлических: Cu, Ni, Al, Ti, Zn, Pb, Co, Fe, Mn, карбида титана, и их сплавов;
- неметаллических: карбиды и оксиды.

В работе [93] представлена базовая технология получения композиционных порошковых материалов методом сверхскоростного механосинтеза. Исследован способ

получения наноструктурированного композиционного порошкового материала системы металл–керамика износостойкого класса. На основе фундаментальных физико-химических исследований определены некоторые подходы к разработке новых конструкционных материалов и покрытий с заданными свойствами для ракетно-космической, авиационной и атомной техники [94]. Дано обоснование перспективности этих материалов и технологий их производства.

В работе [95] описано устройство для тонкого измельчения, смешивания и механической активации материалов, в том числе с наноструктурой, и может быть использовано в различных отраслях промышленности, где применяется дезинтеграторная технология. Дезинтегратор включает два расположенных параллельно и соосно друг другу ротора-диска, на которых концентрическими рядами закреплены консольно пальцы с посаженными на них втулками. Каждый ряд пальцев одного ротора расположен между двумя рядами пальцев другого ротора, и два привода для вращения каждого ротора в противоположную сторону. Дезинтегратор снабжен съемными пальцами, на которые туго посажены съемные стаканы цилиндрической формы, изготовленные из твердосплавного материала, причем стаканы туго посажены на каждый палец двух роторов. Обеспечивается снижение интенсивности износа пальцев.

В работе [96] представлен способ получения ферритовых магнитных порошков. Композиционные частицы порошкового материала системы ферромагнетик-диамагнетик получают путем совместной обработки порошков полимерной диамагнитной матрицы и ферромагнитного армирующего компонента в количестве 20-50%. Порошок полимерной матрицы представляет собой дисперсные частицы фракцией 0,5-1,5 мм. Порошок ферромагнитного компонента представляет собой нанокристаллический порошок фракцией 1-50 мкм. Сверхскоростной механосинтез смеси проводят в высокоскоростном дезинтеграторе при скоростях относительного движения ударных элементов 220-250 м/с и частоте ударов 3000-5000 уд./с. Полученный композиционный порошок содержит частицы со степенью аморфности не более 80% и магнитной проницаемостью до 90 и более и позволяет получать радиопоглощающие материалы с высокой эффективностью экранирования и большим значением коэффициента поглощения в диапазоне частот от 1 МГц до 40 ГГц. Может использоваться для изготовления композиционных радиопоглощающих материалов и покрытий в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ).

В работе [97] показан способ получения композиционных порошковых материалов с металлической матрицей, армированной тугоплавкими наполнителями методом сверхскоростного механосинтеза. Может использоваться для получения защитных износостойких покрытий с заданными свойствами на различных деталях машин и

оборудования. Порошок металлической матрицы получают путем измельчения порошкового материала дисперсностью не более 100 мкм в высокоскоростном дезинтеграторе с помощью двух роторов с измельчающими элементами, изготовленными из лакирующего материала. Плакированный порошок смешивают с порошком керамического упрочнителя и обрабатывают в высокоскоростном дезинтеграторе с помощью двух роторов при скоростях относительного движения ударных элементов 120-220 м/с и частоте ударов 7000-10000 уд./с. Измельчающие элементы роторов изготовлены из материала твердостью ниже твердости обрабатываемого порошка или смеси. Полученные дисперсно-упрочненные частицы системы металл - керамика имеют степень армирования не менее 60% и обеспечивают высокие эксплуатационные свойства покрытия из них.

В работе [98] показана технология распыления и газовой классификации сплавов системы Al-Sn-Zn-MM и приготовления механолегированных композиционных материалов α -Al₂O₃/Al-сплав. Исследованы структура и прочностные свойства напыленного покрытия с использованием метода холодного газодинамического напыления (ХГДН). Подтверждены преимущества и перспективность метода ХГДН при формировании функциональных покрытий на элементах, узлах и деталях прецизионного машиностроения широкого спектра применения, в том числе для энергетики, пищевой промышленности, медицинской техники.

В работе [99] приведены результаты исследования гранулометрического состава и морфологии частиц порошка ПМ-НЮ50 в состоянии поставки. Показано, что в исходном порошке без предварительной подготовки содержится примерно 0,5 об. % фракции, пригодной к напылению катодов химических источников тока и тепла (ХИТТ) микроплазменным методом. Ударно-активаторная обработка позволяет получать порошок с высоким содержанием фракции 50-80 мкм, используемый при микроплазменном напылении катодов ХИТТ, в то время как чашечное истирание приводит к измельчению порошка до размеров частиц менее 50 мкм, что не позволяет изготавливать эффективные катоды ХИТТ.

Основные направления фундаментальных научных исследований ФГАОУ ВО «СПбГПУ»

В работе [100] показано, что в момент экзотермической реакции развиваются температуры, достаточные для плавления различных металлов, а последующее быстрое охлаждение позволяет получать тонкодисперсную структуру порошков. С помощью данного метода были синтезированы сульфиды, карбиды, бориды, карбонитриды, силициды, безвольфрамовые твердые сплавы. Проведенные исследования показали

перспективность данного метода получения тугоплавких соединений и сплавов на их основе.

В работе [101] исследовано влияние режима механоактивации и времени азотирования на структуру и свойства сплавов системы Sm-Fe-N. Изучено влияние легирующих элементов (азота, титана, молибдена) на температуру Кюри. Выявлено, что введение легирующих элементов приводит к получению однородной структуры, равномерному распределению частиц, искажению кристаллической решетки и повышению температуры Кюри (до 540-550°C).

В работе [102] рассмотрена возможность реализации механохимического синтеза карбидов вольфрама и титана с участием углеродных агентов, полученных из растительного сырья. Установлено, что сформированные карбиды обладают особыми физико-химическими свойствами и могут служить основой для создания твердых сплавов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

В работе [103] изучен процесс фазообразования и кинетика растворения никеля в железе в ходе механохимического синтеза в системе Fe-36Ni. Установлено, что за счет интенсивной пластической деформации материала при механохимическом синтезе происходит растворение и равномерное распределение никеля в объеме α -Fe, вызывающее перестроение решетки из ОЦК в ГЦК.

В работе [104] представлены результаты исследований фазообразования при получении высоколегированных порошковых сплавов системы Fe-Cr-Ni-Mn-N методом механохимического синтеза в различных газовых атмосферах. Изучено влияние времени механоактивации на распределение легирующих элементов по объему частицы порошка в сплаве и изменение фазового состава. Показана нанокристаллическая структура механолегированных сплавов системы Fe-18Cr-8Ni-12Mn-N. Исследован процесс горячей пластической деформации полученного порошкового сплава в оболочке, изучено его влияние на тонкую структуру.

В работе [105] методом высокотемпературного механохимического синтеза на основе титаномагнетита получены высокодисперсные порошковые композиционные материалы с высокоразвитой поверхностью. Рентгенофазовым анализом показано, что фазовый состав полученных соединений находится в строгом соответствии с равновесными диаграммами состояния исследуемых систем. Установлено, что формирование фазового состава и дисперсность тугоплавких соединений, полученных путем высокотемпературного механохимического синтеза определяется температурно-временными параметрами данного процесса. Показано, что механохимическая технология получения порошковых композиционных материалов на основе титаномагнетита может

применяться при производстве катодных материалов литий-ионных полимерных аккумуляторов.

Методами механосинтеза и механоактивации получен перспективный нанометрический карбид вольфрама для создания функциональных нанокпозиционных материалов [106], перспективных для получения режущего инструмента и анодных электродов. Исследовано структурообразование нанометрического карбида вольфрама и установлены закономерности взаимодействия в системе металл-неметалл.

В работе [107] предложен способ получения композиционного материала на основе алюминия, который может использоваться в качестве конструкционного материала для точных приборов систем управления и навигации космических аппаратов. Композиционный материал содержит, мас. %: кремний 35,0-46,0; никель 2,0-5,0; бериллий 0,0001-0,049; оксид алюминия 0,1-3,0; углерод 0,5-2,0; алюминий - остальное. Материал получен путем приготовления расплава, содержащего алюминий, кремний, никель, бериллий, и его распыления с получением порошка сплава. Затем осуществляют механическое легирование порошка дисперсными углеродом и кремнием с доведением содержания кремния в материале до 35-46 мас. % в азотно-кислородной смеси с содержанием кислорода 2-8 об. %. Полученный материал имеет однородную дисперсную структуру, что обеспечивает высокую стабильность прецизионных характеристик упругости и эксплуатационную надежность высокоточных приборов систем управления и навигации при работе предлагаемого материала в контакте со сталью в течение длительного срока эксплуатации.

В работе [108] предложен способ получения антифрикционных порошковых материалов, которые могут применяться для нанесения покрытий на стальные детали, например, в машиностроении. Материал для нанесения антифрикционных покрытий из механолегированного сплава в виде порошка, содержащего, мас. %: свинец 4-22; медь 0,4-1,0; алюминий остальное, при следующем соотношении фракций: 1-50 мкм - 5-30%; 51-160 мкм - 70-95%. При получении материала смесь порошков алюминия, свинца, меди или их сплавов усредняют в течение 0,5-2,0 ч, в качестве рабочих тел используют алюминиевые гранулы 5-20 мм. После чего осуществляют механообработку шихты в высокоэнергетической мельнице при энергонагруженности 3-30 кВт/кг в течение 0,5-10 ч. Техническим результатом является повышение износостойкости и снижение коэффициента трения.

Основные направления фундаментальных научных исследований ФГБОУ ВПО «СПбГУ»

Работа [109] знакомит с современным состоянием химической термодинамики твердых тел и ее приложениями к механохимии. Объясняется тензорная природа химического потенциала и химического сродства и их роль в физических и химических процессах, протекающих в условиях сложных, механически анизотропных состояний вещества. Рассматриваются полиморфные превращения в твердых телах (фазовые переходы первого и второго рода). Формулируются базовые положения термодинамики поверхностных явлений и механохимия поверхности с участием механического и термодинамического поверхностных натяжений. Суммируются механохимические открытия в этой области. Характеризуются механохимия смачивания и хемомеханический эффект адсорбции. Особое внимание уделено наномеханохимии. Анализируются механические состояния и материальный обмен в наночастицах, размерная зависимость поверхностных характеристик. На примерах процессов растворения (испарения) и полиморфных превращений объясняется суть химического подхода к описанию наночастиц. Излагается термодинамика диспергирования твердых тел. Объясняются хемомеханические эффекты в нанопористых телах, широко применяемых в адсорбционной практике.

Проведенное ранее термодинамическое рассмотрение механохимического эффекта растворения и расчет химического сродства растворения в условиях деформации дополнены анализом кинетики процесса [110]. Разобран типичный для современного эксперимента случай растворения (испарения) изогнутой пластинки. На основе выражений для химического сродства дан вывод кинетических уравнений двустороннего и одностороннего (при изоляции одной из сторон пластинки) растворения. Установлена связь скорости растворения с толщиной и кривизной пластинки. Показано, что, как при двустороннем, так и одностороннем растворении, сравнением скоростей растворения выпуклой и вогнутой сторон пластинки устанавливается эффект знака деформации, связанный с существованием поверхностного напряжения.

На основе условия механического равновесия и анализа тензора давления адсорбата в порах различной формы рассмотрены механохимические явления в микропористых телах [111], включая исходное сжатие в вакууме, дополнительное сжатие на начальном этапе адсорбции газа и расширение тела в ходе дальнейшей адсорбции. Для случаев цилиндрической и сферической пор дан точный расчет деформации. Показано, что роль поверхностного натяжения пор сводится, во-первых, к исходной деформации сжатия адсорбента в вакууме и, во-вторых, к расширению адсорбента в ходе адсорбции газа. Незначительное добавочное сжатие адсорбента на начальной стадии адсорбции

объяснено особенностями тензора давления адсорбата в поре, влиянием температуры и хемосорбцией при наличии активных центров.

Изучены краевые углы смачивания водой поверхности оптического стекла К-8 и покровного стекла для микроскопии в условиях напряжений [112]. Показано, что при изгибе стеклянных пластинок краевой угол на выпуклой (растянутой) стороне всегда больше, чем на вогнутой (сжатой). Тем самым фиксируется механохимический эффект знака деформации при смачивании стекла.

В работе [113] исследована кинетика коррозии изогнутых пластин нелегированной и высоколегированной (05X22AG15H8M2Ф-Ш) стали в водных растворах соляной и серной кислот. Особое внимание уделено исследованию эффекта знака деформации, обусловленного влиянием поверхностного натяжения твердых тел. Изучение эффекта знака деформации проводилось путем сравнения скоростей растворения разных сторон изогнутой пластины в коррозионной среде. Сочетание весового метода и метода измерения объема выделившегося водорода позволило надежно установить механохимический эффект знака деформации в явлениях коррозии металлов под напряжением.

В работе [114] сравнением скоростей растворения растянутой и сжатой сторон изогнутой пластины установлен эффект знака деформации, связанный с существованием исходного поверхностного напряжения и позволяющий определить эту величину. На основе уравнений кинетической теории растворения деформированных материалов по полученным экспериментальным данным выполнен расчет поверхностного напряжения стального образца марки 05X22AG15H8M2Ф-Ш, которое составило $5 \cdot 10^4$ МПа.

3.3.4.4 Характеристика участия научных коллективов и научных организаций Петербурга в мировых трендах развития наиболее перспективных направлений фундаментальных научных исследований

3.3.4.4.1 Перечень наиболее перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований с учетом их развития в научных учреждениях Петербурга

Разработка технологий получения перспективных порошковых материалов на основе механохимического синтеза, интенсивной пластической деформации, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и синтеза из аморфного состояния.

Создание прочных, жестких, трещиностойких, износостойких, жаропрочных, криостойких, жаростойких материалов, в том числе композитных - на основе высокопрочных армирующих компонентов (оксидных и других волокон, нанотрубок и т.п.) и металлических, интерметаллидных и керамических матриц для применения в несущих конструкциях и энергетических установках космической, авиационной техники и машиностроении. Повышение динамической прочности материалов и разработка технологий легкой прозрачной брони.

Разработка физико-химических основ и высокоэффективных методов получения новых конструкционных металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов, включая наноматериалы с рекордно высокими механическими свойствами (удельная прочность, износостойкость, твердость, пластичность и др.); высокой жаростойкостью и жаропрочностью; высокой коррозионной стойкостью для машиностроения и авиации, превосходящие существующие аналоги.

Создание материалов, в том числе азотсодержащих коррозионностойких сталей, обеспечивающих работу изделий в экстремальных условиях для авиационной и ракетно-космической (в том числе гиперзвуковой) техники, судостроительной промышленности, высокоскоростного транспорта, энергетики (в особенности ядерной и водородной); коррозионностойких материалов и покрытий, обеспечивающих повышение антикоррозионной стойкости в 3-10 раз; новых сверхпрочных металлических материалов, обеспечивающих повышение надежности и долговечности устройств в 1,5-2 раза по сравнению со штатными. Установление закономерностей формирования их структуры, развитие теории и прикладных аспектов упрочнения и формоизменения конструкционных материалов.

Разработка методов синтеза нанокристаллических сверхтугоплавких соединений (оксидов, карбидов, нитридов, боридов), обладающих температурой плавления 2300 – 4000°C, а также карбида кремния, сложных карбидов в системе Ti-Si-C и композиционных материалов на их основе для использования в гиперзвуковых летательных аппаратах.

Разработка научных основ энергоресурсосберегающих механохимических технологий переработки бытовых и техногенных отходов. Инновационные технологии комплексной переработки минерального сырья с извлечением сопутствующих редких, цветных и благородных металлов.

Разработка кинетических основ описания процессов механической деструкции, миграции атомов и молекулярного перемешивания, химических реакций с формированием новых кристаллических или аморфных структур в условиях деформирования и диссипации энергии.

3.3.5 Выявление и характеристика центров превосходства по выявленным наиболее перспективным направлениям развития научных исследований в Петербурге

3.3.5.1 Приоритетные (прорывные) и перспективные направления исследований ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» и ФГАОУ ВО «СПбГПУ»

- Разработка технологий получения перспективных порошковых материалов на основе механохимического синтеза и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для аддитивных технологий.

- Разработка физико-химических основ и высокоэффективных методов получения новых конструкционных металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов, включая наноматериалы с рекордно высокими механическими свойствами (удельная прочность, износостойкость, твердость, пластичность и др.); высокой жаростойкостью и жаропрочностью; высокой коррозионной стойкостью для аддитивных технологий в машиностроении и авиации, превосходящие существующие аналоги.

- Создание материалов, в том числе азотсодержащих коррозионностойких сталей, обеспечивающих работу изделий в экстремальных условиях для авиационной и ракетно-космической (в том числе гиперзвуковой) техники, судостроительной промышленности, высокоскоростного транспорта, энергетики (в особенности ядерной и водородной); коррозионностойких материалов и покрытий, обеспечивающих повышение антикоррозионной стойкости в 3-10 раз; новых сверхпрочных металлических материалов, обеспечивающих повышение надежности и долговечности устройств в 1,5-2 раза по сравнению со штатными. Установление закономерностей формирования их структуры, развитие теории и прикладных аспектов упрочнения и формоизменения конструкционных материалов.

ФГБОУ ВПО «СПбГУ»

- Разработка кинетических основ описания процессов механической деструкции, миграции атомов и молекулярного перемешивания, химических реакций с формированием новых кристаллических или аморфных структур в условиях деформирования и диссипации энергии.

ФГБОУ ВПО «СПбГТИ(ТУ)»

- Разработка научных основ энергоресурсосберегающих механохимических технологий переработки бытовых и техногенных отходов. Инновационные технологии

комплексной переработки минерального сырья с извлечением сопутствующих редких, цветных и благородных металлов.

3.3.5.2 Наличие в них признанных (зарегистрированных) научных школ и их краткая характеристика

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»

«Фундаментальные и научно-прикладные работы в обеспечение создания перспективных высокопрочных свариваемых сталей, полимерных композиционных материалов, средств защиты от коррозии и многофункциональных покрытий для широкого применения в надводном и подводном кораблестроении». Научный руководитель: академик РАН, д.т.н., профессор Горынин Игорь Васильевич.

ФГБОУ ВПО «СПбГУ»

Русанов Анатолий Иванович - Доктор химических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, действительный член Российской академии наук. В 1996 г. его школа была внесена в реестр ведущих научных школ Российской Федерации и с тех пор неизменно побеждает на конкурсах президентских грантов. Участники школы продемонстрировали ряд выдающихся достижений.

3.3.5.3 Квалификация кадров

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»

По данному направлению работают более 15 человек, включая: 1 академика, 2 докторов технических наук и 2 кандидатов наук.

ФГАОУ ВО «СПбГПУ»

По данному направлению работают более 25 человек, включая: 1 академика, 1 член.-корр. РАН, 4 докторов наук и 6 кандидатов наук.

ФГБОУ ВПО «СПбГУ»

По данному направлению работают более 15 человек, включая: 1 академика, 3 докторов наук и 4 кандидатов наук.

ФГБОУ ВПО «СПбГТИ(ТУ)»

По данному направлению работают более 20 человек, включая: 3 докторов наук, 4 кандидатов наук.

3.3.5.4 Публикационная активность и цитируемость

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»

За последние 10 лет по данному направлению было опубликовано более 20 работ в ведущих научных изданиях, входящих в базы данных РИНЦ, Scopus, WoS, с общим количеством цитирований 23.

ФГАОУ ВО «СПбГПУ»

За последние 10 лет по данному направлению было опубликовано более 50 работ в ведущих научных изданиях, входящих в базы данных РИНЦ, Scopus, WoS, с общим количеством цитирований 87.

ФГБОУ ВПО «СПбГУ»

За последние 10 лет по данному направлению было опубликовано более 15 работ в ведущих научных изданиях, входящих в базы данных РИНЦ, Scopus, WoS, с общим количеством цитирований 27.

ФГБОУ ВПО «СПбГТИ(ТУ)»

За последние 10 лет по данному направлению было опубликовано более 20 работ в ведущих научных изданиях, входящих в базы данных РИНЦ, Scopus, WoS, с общим количеством цитирований 18.

3.3.5.5 Наличие высокотехнологичной инфраструктурной базы исследований и разработок

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»

Анализатор площади поверхности TriStar 3020; Низкочастотный измеритель магнитной и диэлектрической проницаемости E4991A; Измерительная система ИМПД 40; Дезинтегратор DESI-EX; Атриттор «Активатор 2s»; Дезинтегратор вакуумный ДЕЗИ-1А5;

Классификатор порошков ИГ-6У; Измеритель коэффициентов передачи К4-37; Печь вакуумная СНВЭ-2; Печь ЭКП 80/1000; Печь СШОЛ; Дисковый истиратель ИВЧ-3;

Лазерный анализатор частиц ЛАСКА-1К; Вибростол с набором сит; Дезинтегратор воздушный ДЕЗИ-15; Мельница ножевая ВВ-51; Имитатор магнитного поля ИМППЧ-300;

Магнитоизмерительный комплекс МК-3Э; Инвертированный оптический микроскоп Axiovert-40; Весы технические MV-1200; Спектрометр флуоресцентный NITON XL 3t 900; Мельница МШПМ-1; Дезинтегратор DESI-11; Весы аналитические GR-202; Компьютеризированный комплекс для управления процессом механоактивации для дезинтегратора DESI-15; Установка для измерения каталитической активности (полное окисление) «VI-CATr»; Диспергатор ЗУ8 и др.

ФГАОУ ВО «СПбГПУ»

Планетарная мельницы Fritch Pulverisette 4 с контролируемой атмосферой; Лабораторная струйная мельница NETZSCH-CONDUX тип CGS 10 с компрессором типа

ZT18-10 Atlas Corco; Рентгеновский дифрактометр Bruker D8 Advance; Лазерный анализатор размера частиц (ANALYSETTE 22); Прецизионный анализатор удельной поверхности и размеров пор Autosorb-iQ-MP; Весы аналитические GR-202 с виброгасящим столом; Трубчатая печь высокого давления (OTF1200X-HP-55); Настольная вакуумная печь (VBF-1200X-H8); Автоматизированная печь с контролируемой атмосферой, включая содержание кислорода, на 7 л (KSL-1100X-PC); Термогравиметрический анализатор DTA – TGA Q5000IR с встроенным электромагнитом и ИК-спектрометром Nicolet; Оптические микроскопы: Observer фирмы CarlZeiss, DM15000 фирмы Leica; Система шлифподготовки фирмы Buehler; Сканирующий электронный микроскоп Mira фирмы Tescan, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным спектрометром и анализатором картин дифракции обратно-отраженных электронов; Лазерно-дуговой технологический комплекс; Испытательная машина Zwick/Roell-Z100; Установка плазменно-искрового спекания (SPS) - FCT HP D 25; Сухой шкаф для работы с образцами с автоматически контролируемым давлением и системой очистки газа; Стерильная камера с перчатками для работы с образцами; Перчаточный бокс «MTI corp EQ-VGB-6». Камера предназначена для работы в инертной атмосферой аргона и контролируемым давлением воды и кислорода; Рентгеновский фотоэлектронный спектроскоп (Thermo Scientific K-ALPHA) и др.

ФГБОУ ВПО «СПбГУ»

Планетарная шаровая мельница PM 100 CM; ИК-Фурье спектрометр Nicolet 8700; Микроскопы РЦ ОЛМИВ; Спектрометр КРС исследовательского класса T64000; Дифрактометр высокого разрешения Rigaku «Ultima IV»; Исследовательский комплекс Bruker «D8 DISCOVER»; Монокристалльный дифрактометр Agilent Technologies (Oxford Diffraction) «Supernova»; Настольные порошковые дифрактометры Bruker «D2 Phaser»; Измерение диэлектрических свойств материалов - Novocontrol Concept 40; Измерение удельной поверхности дисперсных материалов и распределения пор по размерам - ASAP 2020 MP; Испытательная машина Shimadzu AG-50kNXD; Микротвердомер Shimadzu HMV-2T; Реактор высокого давления (автоклав) Berghof BR-300; Система горячего прессования OXY-GON FR210; ЯМР спектрометр Bruker 500 МГц Avance III; Дифференциальный сканирующий калориметр высокого давления Netzsch DSC 204 HP Phoenix и др.

3.3.6 Возможности и направления использования наиболее перспективных направлений для развития наукоемких отраслей экономики Петербурга

Разработка технологий получения перспективных порошковых материалов на основе механохимического синтеза и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для аддитивных технологий.

Разработка физико-химических основ и высокоэффективных методов получения новых конструкционных металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов, включая наноматериалы с рекордно высокими механическими свойствами (удельная прочность, износостойкость, твердость, пластичность и др.); высокой жаростойкостью и жаропрочностью; высокой коррозионной стойкостью для аддитивных технологий в машиностроении и авиации, превосходящие существующие аналоги.

Создание материалов, в том числе азотсодержащих коррозионностойких сталей, обеспечивающих работу изделий в экстремальных условиях для авиационной и ракетно-космической (в том числе гиперзвуковой) техники, судостроительной промышленности, высокоскоростного транспорта, энергетики (в особенности ядерной и водородной); коррозионно-стойких материалов и покрытий, обеспечивающих повышение антикоррозионной стойкости в 3-10 раз; новых сверхпрочных металлических материалов, обеспечивающих повышение надежности и долговечности устройств в 1,5-2 раза по сравнению со штатными. Установление закономерностей формирования их структуры, развитие теории и прикладных аспектов упрочнения и формоизменения конструкционных материалов.

Разработка кинетических основ описания процессов механической деструкции, миграции атомов и молекулярного перемешивания, химических реакций с формированием новых кристаллических или аморфных структур в условиях деформирования и диссипации энергии.

Разработка научных основ энергоресурсосберегающих механохимических технологий переработки бытовых и техногенных отходов. Инновационные технологии комплексной переработки минерального сырья с извлечением сопутствующих редких, цветных и благородных металлов.

При суммировании результатов многочисленных работ в области механохимии можно выделить несколько направлений фундаментальных исследований, с которыми связано развитие и дальнейший прогресс в этой интересной и перспективной области знаний. Прежде всего, к ним относятся:

- раскрытие молекулярных механизмов деформации простых и сложных веществ, а также их смесей с выяснением природы промежуточных неравновесных состояний;
- кинетическое описание процессов механической деструкции, миграции атомов и

молекулярного перемешивания, химических реакций с формированием новых кристаллических или аморфных структур в условиях деформирования и диссипации энергии;

- изучение взаимосвязи между тепловыми и нетепловыми реакциями, в которых энергетический барьер преодолевается либо по термофлуктуационному механизму, либо под действием упругих напряжений.

Все вместе эти направления складываются в проблему систематического описания законов химических превращений в условиях совместного действия механических и химических сил.

Касательно возможности и направлений использования наиболее перспективных направлений для развития наукоемких отраслей экономики Петербурга, необходимо отметить следующие направления:

- разработка технологий получения перспективных порошковых материалов на основе механохимического синтеза и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для аддитивных технологий;

- разработка физико-химических основ и высокоэффективных методов получения новых конструкционных металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов, включая наноматериалы с рекордно высокими механическими свойствами (удельная прочность, износостойкость, твердость, пластичность и др.); высокой жаростойкостью и жаропрочностью; высокой коррозионной стойкостью для аддитивных технологий в машиностроении и авиации, превосходящие существующие аналоги;

- создание материалов, в том числе азотсодержащих коррозионностойких сталей, обеспечивающих работу изделий в экстремальных условиях для авиационной и ракетно-космической (в том числе гиперзвуковой) техники, судостроительной промышленности, высокоскоростного транспорта, энергетики (в особенности ядерной и водородной); коррозионно-стойких материалов и покрытий, обеспечивающих повышение антикоррозионной стойкости в 3-10 раз; новых сверхпрочных металлических материалов, обеспечивающих повышение надежности и долговечности устройств в 1,5-2 раза по сравнению со штатными;

- разработка кинетических основ описания процессов механической деструкции, миграции атомов и молекулярного перемешивания, химических реакций с формированием новых кристаллических или аморфных структур в условиях деформирования и диссипации энергии;

- разработка научных основ энергоресурсосберегающих механохимических технологий переработки бытовых и техногенных отходов. Инновационные технологии

комплексной переработки минерального сырья с извлечением сопутствующих редких, цветных и благородных металлов.

Приведенные данные указывают на общий характер динамики развития исследований и разработок в области конструкционных наноматериалов. Однако имеются существенные специфические особенности при создании на их основе различных модификаций конструкционно-функциональных элементов различных классов и назначений. Приведем несколько примеров исследований и разработок в области конструкционно-функциональных элементов.

3.3.7 Интеллектуальные материалы, метаматериалы и адаптивные композиции. Концепция создания и перспективы использования интеллектуальных материалов

Ужесточение условий эксплуатации с точки зрения динамических воздействий, физических полей, химических реагентов и биоповреждений показывает, что будущее мирового машиностроения и, в частности, его наиболее наукоемкой части - судостроения и особенно военного кораблестроения, уже в ближайшей перспективе будет в значительной степени определяться широким внедрением в практику так называемых интеллектуальных материалов и конструкций [114]. По экспертным оценкам, в ближайшие 20 лет до 90 % современных материалов, применяемых в промышленности, могут быть заменены новыми, в частности «интеллектуальными» материалами, что позволит создать элементы конструкций, которые будут определять технический прогресс XXI века.

К настоящему времени начальный этап научных исследований в области создания интеллектуальных материалов практически завершен. Однако конечной целью инновационной работы является создание несущих конструкций, в которых интеллектуальные материалы способствуют не только изменению состояния конструкций, но и должны способствовать их перемещению или даже самовосстановлению.

Согласно принятому научным сообществом определению, под интеллектуальным материалом или интеллектуальной конструкцией понимается система, способная в реальном масштабе времени регистрировать внешние воздействия и активно реагировать на них, изменяя свои свойства в режиме максимально адекватного отражения или противодействия таким воздействиям [115]. Изменения свойств позволяют материалу или в целом конструкции динамически подстраиваться к условиям окружающей среды. Такое поведение материалов или конструкций особенно актуально при решении проблем защиты кораблей по физическим полям.

К интеллектуальным материалам будущего относятся различные как по химическому, так и по агрегатному состоянию материалы, которые объединяет проявление одной или нескольких физических характеристик (например, оптических, магнитных, электрических, механических) и (или) физико-химических характеристик (например, реологических), которые значительно (обратимо или необратимо) изменяются под действием внешних управляемых или случайных воздействий. В качестве таких воздействий могут быть изменения давления, температуры, влажности, рН среды, электрического, магнитного или электромагнитного полей и других факторов. Важно отметить, что интеллектуальными разнородные материалы делает проявление взаимозависимых, но при этом различных по своей природе свойств, например, пьезоэлектрических, термохромных, фотохромных, магнитореологических, а также памяти формы и действия.

Интеллектуальные материалы прогнозируют использовать как в качестве сенсоров, чувствительных к какому-либо воздействию, так и в качестве актуаторов, вызывающих искусственно совершаемое, но при этом управляемое действие при получении контролирующего сигнала. В качестве примера простейших интеллектуальных материалов можно привести, например, биметаллические пластины в регуляторах температуры. В последнее время в качестве интеллектуальных материалов реализуются пьезоэлектрики (альфа-кварц, титанат-цирконат свинца и др.), термоэлектрики, мультиферроики, магнитокалорические материалы, материалы с эффектом гигантского магнитного сопротивления, магнитореологические, электрореологические жидкости, материалы, обладающие эффектом памяти формы (например, нитинол), термо- и фоточувствительные полимеры. К интеллектуальным материалам также можно отнести полимерные гели или гранулы, способные изменять свой объем или другие свойства даже при незначительном изменении внешних условий. В качестве примера можно привести уже разработанную и используемую в боевых условиях, так называемую «жидкую броню». Очевидно, что создать интеллектуальные монометаллы или сплавы, чрезвычайно трудно. В данном случае можно с уверенностью говорить о реальной перспективе создания интеллектуальных конструкций, представляющих собой основу - монометалл, или биметалл и специальное интеллектуальное покрытие. Тем более, что различные полимерные покрытия, значительно изменяющие свои, например, электропроводящие, оптические, антифрикционные и другие свойства при сорбции определенных веществ, входящих в их рецептуру, уже сегодня достаточно широко применяются в различных сенсорах - приборах, используемых, в том числе, для мониторинга сред и, в частности, для определения концентрации токсичных компонентов.

Наибольшие перспективы при создании интеллектуальных материалов специалисты, как правило, связывают с нанотехнологиями и наноматериалами [117]. Большую роль в решении данной проблемы играют так называемые интеллектуальные композиты, в т.ч. нанокомпозиты. Интеллектуальные композиты представляют собой особым образом структурированные системы, состоящие, в свою очередь, из подсистем считывания внешнего воздействующего сигнала, подсистемы его обработки, подсистемы функционального отклика, механизма обратной связи, самодиагностирования и самовосстановления (в случае требуемой обратимости). Каждый элемент такой сложной структурной системы имеет определенную функциональность, при этом вся система строится по принципу: «оперативно принимать решение и совершать действие».

Сегодня уже достаточно широко известны материалы, на основе которых можно сконструировать подобную весьма перспективную систему. Например, к таким материалам можно отнести:

- сплавы и полимеры с развитой памятью формы и действия, которые деформируются, а затем восстанавливают свою форму при изменении температуры или напряженности магнитного, электрического или электромагнитного поля;
- pH-чувствительные полимеры, которые набухают или коллапсируют при изменении кислотности окружающей среды;
- температурочувствительные полимеры или другие покрытия, например, на основе интеркалированного графита, изменяющие свои свойства при изменении температуры окружающей среды, защищая при этом изделия от любого высокотемпературного воздействия;
- галохромные, электрохромные, термохромные, фотохромные материалы, которые изменяют цвет (или его пропускание) при изменении температуры, кислотной среды, приложенного напряжения электрического (электромагнитного) поля, облучении светом соответственно;
- неньютоновские жидкости, которые изменяют свою вязкость вплоть до потери текучести при изменении величины приложенной скорости сдвига, а также другие жидкостные интеллектуальные системы, способные изменить свое движение под действием электрического сигнала и вызывать появление реальных сил и смещений;
- магнитострикционные материалы, используемые в качестве активных приводов, реагирующих на изменение внешних условий.

Примеры отдельных интеллектуальных материалов отражены на рисунке 3.4

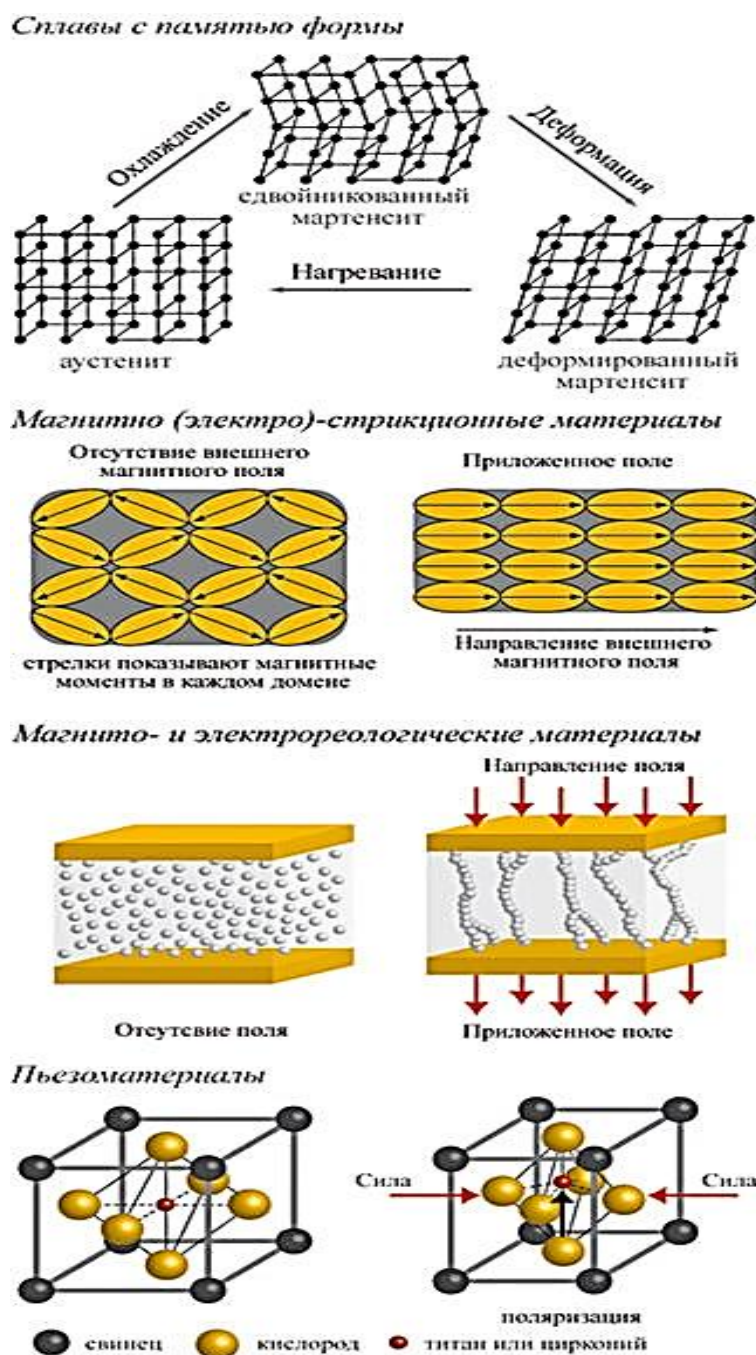


Рис. 3.4 – Примеры интеллектуальных конструкционных материалов

Достигнутые в настоящее время успехи в области создания функциональных наноматериалов и интеллектуальных конструкционных систем, способных самоуправлять своей структурной и композиционной организацией вселяют надежды на будущие перспективы, однако, несомненно, являются первым шагом, объединяющим функциональные конструкционные материалы с логической системой их управляемого поведения [118].

Важнейшим направлением такого поведения является процесс самовосстановления конструкций. К таким самовосстанавливающим материалам, относятся материалы,

способные частично или полностью восстанавливать полученные повреждения, например, трещины или критические износы. В природе самовосстановление наблюдается повсеместно.

Сегодня специалистам известны различные стратегии и подходы для создания самовосстанавливающихся материалов. Такие успешные исследования в основном фундаментального или фундаментально-прикладного характера проводятся применительно к металлам, керамикам и полимерам. Необходимым условием для самовосстановления повреждения, как правило, является формирование так называемой мобильной подвижной фазы, способной «затянуть» повреждение. На практике перспективные самовосстанавливающие материалы в зависимости от механизма инициирования и природы самовосстановления разделяются на: автономные и неавтономные. Неавтономным материалам для самовосстановления требуется внешнее инициирование (например, изменение давления, температурное воздействие), для автономных самовосстанавливающихся материалов именно повреждение является импульсом или сигналом для восстановления.

«Внешнее самовосстановление» также может быть основано на использовании неких внешних восстанавливающих компонентов, таких, например, как микро и нанокapsулы, специально введенные в матрицу материала, или находящиеся в смазывающей или охлаждающей среде. К числу перспективных и достаточно экспериментально проверенных компонентов можно отнести, например, мелкодисперсные (нанодисперсные) порошки активных минералов полученных с помощью сверхзвуковой ударно-дезинтеграторной обработки.

В настоящее время наиболее изученной категорией самовосстанавливающихся материалов являются полимеры и композиты на их основе. Примером самовосстанавливающегося полимера является олигомерный термопластичный эластомер (например, для восстановления разлома достаточно прижать друг к другу поверхности этого разлома). Самовосстановление металлов сегодня и в ближайшей перспективе возможно только по внешней схеме. По прогнозам специалистов наиболее перспективным материалом, с точки зрения самовосстановления является графен.

Исключительно важной областью применения интеллектуальных конструкционных материалов является управление геометрией несущих плоскостей для регулирования, оптимизации или перестройки формы лопастей гребных движителей. Есть основания для этой цели рекомендовать материалы с эффектом памяти формы.

Создание математических моделей показывает, что исключительную роль интеллектуальные материалы, аврмированные наноразмерными элементами, будут играть

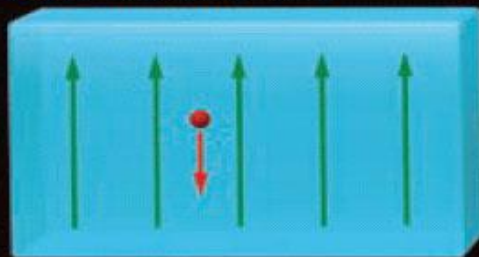
в подавлении структурных вибраций и подавлении воздушного шума. Адаптивные системы для подавления структурных вибраций, в перспективе, могут быть реализованы на основе широкого применения пьезоэлектриков, контролирующих свойства жесткости и демпфирования любой виброактивной динамической системы. Аналогично подавление воздушного шума также может быть основано на использовании акустических сенсоров, регистрирующих параметры шума, набора активных пьезоэлектрических керамических элементов, расположенных на виброактивных поверхностях, которые формируют ответную реакцию, снижая низкочастотный шум.

Несколько слов ещё об одной исключительно перспективной группе конструкционных материалов и покрытий будущего – это так называемые *метаматериалы* [119]. Главной уникальной особенностью данного класса материалов является потенциальная возможность обеспечить отрицательный угол преломления. Такое свойство метаматериалы имеют благодаря не химическому составу, а специальной структуре. Данный эффект предсказал ещё в 60-х годах прошлого столетия талантливый отечественный физик В.Г. Веселаго. Метаматериалы – это композитные материалы, свойства которых обусловлены не столько индивидуальными физическими свойствами их компонентов, сколько микроструктурой. Термин «метаматериалы» особенно часто применяют по отношению к тем композитам, которые демонстрируют свойства, нехарактерные для объектов, встречающихся в природе. В 1967 году В.Г. Веселаго предсказал возможность создания суперлинзы с отрицательным коэффициентом преломления. Эта идея была позже подхвачена английским физиком Джоном Пендри, и первые «метаматериалы», которые обладают такими свойствами, были созданы американскими учёными Дэвидом Смитом и коллегами в лаборатории Шелдона Шульца [120].

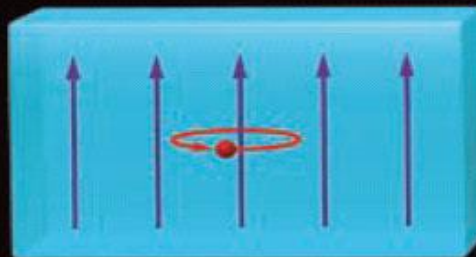
КОНСТРУИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА

Ключ к созданию метаматериала — разработка материала с нужной реакцией на электрические и магнитные поля

В ОБЫЧНОМ МАТЕРИАЛЕ

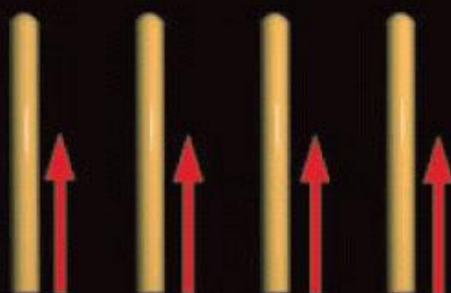


Электрическое поле (зеленое) вызывает линейное движение электронов (красные)



Магнитное поле (фиолетовое) вызывает круговое движение электронов

В МЕТАМАТЕРИАЛЕ

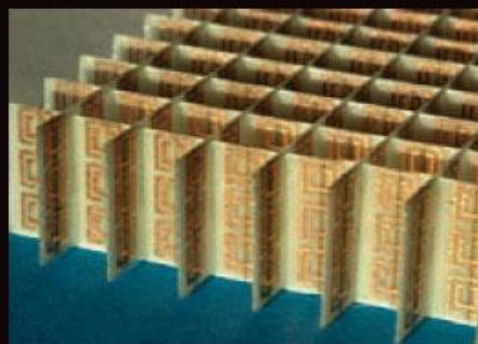


В матрице проводников текут линейные токи (красные стрелки)



В кольцах с разрезами (резонаторах) текут круговые токи

СТРУКТУРА МЕТАМАТЕРИАЛА



Метаматериал построен из матрицы проводников и колец с разрезом, размеры которых меньше, чем длина электромагнитных волн, для которых предполагается использовать материал

Рис. 3.5 – Конструирование свойств материалов

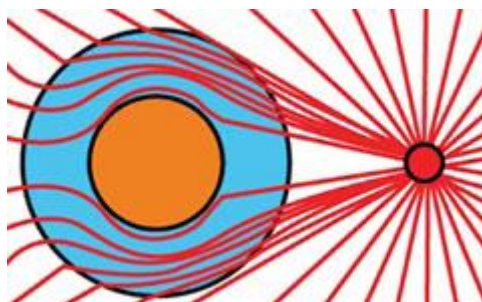


Рис. 3.6 – Схема действия метаматериалов

Идея материалов - невидимок заключается в том, что маскируемый объект помещается в некую полость внутри маскировочной оболочки, и световые волны (или любая другая разновидность электромагнитного излучения), ударяясь об эту оболочку, вместо того чтобы попадать далее в размещенный внутри объект, плавно огибают его и, заново рекомбинируясь, выходят наружу. Используя уравнения Максвелла, описывающие электромагнитные явления в среде, Д. Пендри и его коллеги сделали необходимые теоретические расчеты физических характеристик маскировочного материала, способного соответствующим образом изменять направление электромагнитных волн. В частности, ученые пришли к выводу, что этот материал должен быть сконструирован так, чтобы скорость света на некотором удалении от полости была относительно медленной и возрастала при приближении к ней. Исходя из этого и ряда других полученных расчетных результатов, получили, что основой маскировочных покрытий будущего, скорее всего, станут метаматериалы. Возможность метаматериалов искусственно варьировать показатель преломления в различных зонах может обеспечить нужный по теории разброс скорости света внутри маскировочной оболочки [121]. Таким образом, электромагнитный отклик метаматериала можно «конструировать», создавая специальные, как правило, макроскопические структуры.

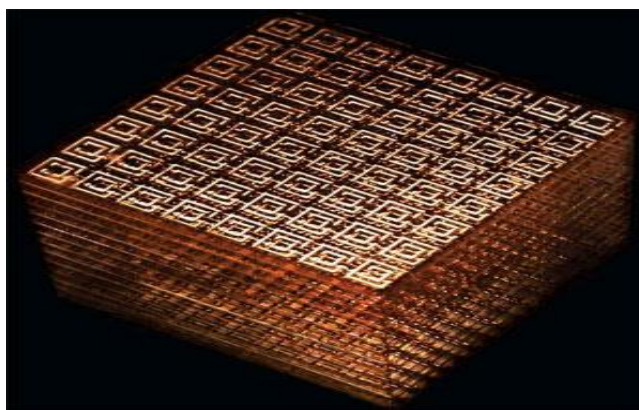
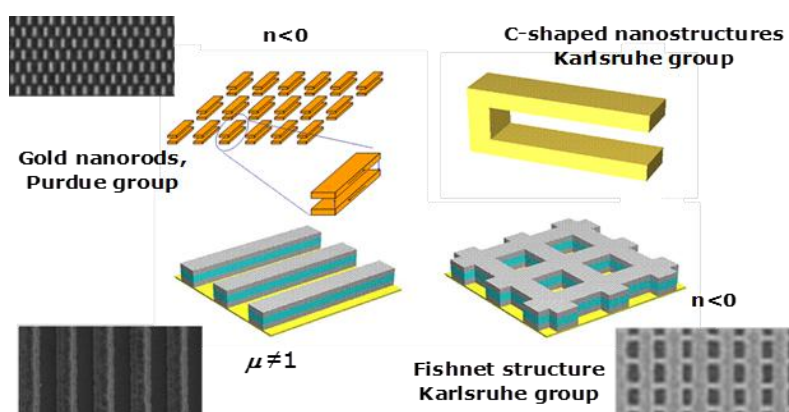
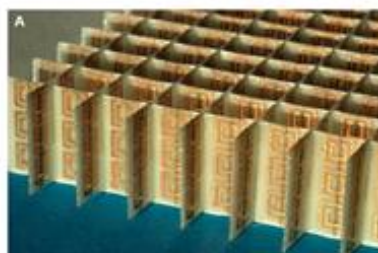
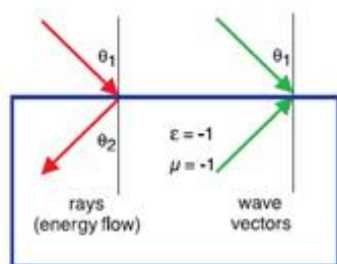


Рис. 3.7 – Конструкция метаматериалов

Пример «левого» метаматериала в микроволновом диапазоне



Волновые и лучевые вектора в метаматериале с отрицательным преломлением

Периодический массив ДРР с металлической полоской. Высота структуры 1 см.

Развитие технологии метаматериалов с отрицательным преломлением

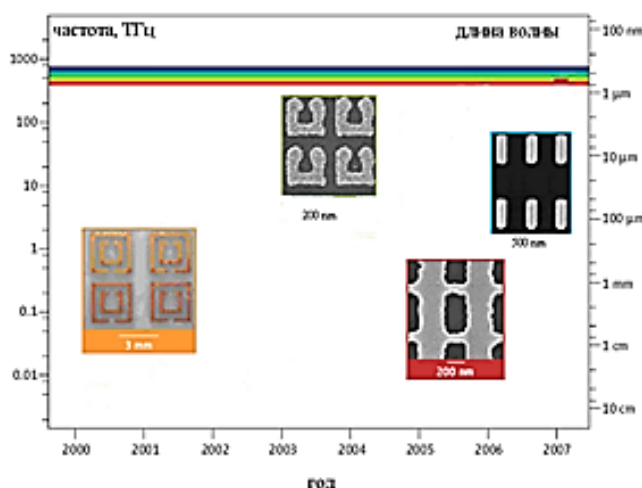


Рис.3.8 – Развитие технологии метаматериалов с отрицательным преломлением.

3.3.8 Функционально-градиентные и многослойные наноструктурированные покрытия

В настоящее время более 80% всех конструкций эксплуатируется с защитными покрытиями, обеспечивающими продление срока эксплуатации при агрессивном воздействии внешних факторов. Создание наноструктурированных покрытий существенно усиливает защитный эффект. [122, 123]. Для получения покрытий с

реализацией наноразмерного эффекта используются современные технологии, в т.ч. [124,125]:

- высокоэнергетический механосинтез и плазмохимический синтез получения наноразмерных и композиционных порошковых материалов;
- испарительная конденсация с управляемым потоком плазмы;
- сверхбыстрая закалка расплава с высокой степенью переохлаждения;
- высокоскоростной гетерофазный перенос с использованием метода микроплазменного и сверхзвукового холодного газодинамического напыления.

Важным аспектом получения функциональных покрытий является получение исходных дисперсных материалов с высоким уровнем технологических свойств с помощью сверхскоростного механосинтеза.

3.3.8.1 Получение наноструктурированных порошковых материалов с использованием сверхскоростного механосинтеза.

Сущность метода заключается в ударно-волновой обработке порошковых материалов в высокоскоростных дезинтеграторах со скоростями вращения роторов до 24000 об./мин. При этом частицы разгоняются зубцами ротора навстречу друг другу до скоростей, в несколько раз превышающих скорость звука. В зависимости от свойств обрабатываемых материалов (прежде всего твердости) и скорости обработки происходит либо измельчение порошка до наноразмеров, либо получение плакированных композиционных наноструктурированных или армированных нанопорошков.

Существенную роль играет состав газовой фазы в рабочей зоне дезинтегратора. При введении в зону интенсивного взаимодействия частиц реакционного газа (например, азота) на их ювенильной поверхности образуются нитриды, т. е. реализуется процесс механохимического синтеза.

При совместной обработке микронных порошков из пластичных матричных металлов с наноразмерными частицами особо твердых нитридов, карбидов, оксидов, боридов или их комбинаций происходит поверхностное армирование с образованием композиционных порошков с высокой интегральной твердостью. Такие порошки являются весьма эффективным материалом для создания на их основе наноструктурированных функциональных покрытий с кардинально улучшенным комплексом свойств, в том числе практически беспористых покрытий с существенно улучшенными характеристиками износа - и коррозионной стойкости, а также же

мультипористых каталитически активных покрытий для водородной и альтернативной энергетики.

3.3.8.2 Получение наноструктурированных износостойких и коррозионностойких покрытий методом сверхзвукового «холодного» газодинамического напыления

Полученные с помощью высокоскоростного управляемого механосинтеза наноразмерные и наноструктурированные композиционные порошковые материалы весьма специфичны с точки зрения технологических свойств при получении функциональных покрытий.

Одной из особенностей таких порошков является их склонность к образованию агломератов и деградации структуры при температурах, существенно ниже температуры ликвидуса. Для предотвращения этих негативных явлений разрабатываются технологии получения функциональных наноструктурированных покрытий, напыление которых производится при низких температурах и при высоких скоростях гетерофазного переноса. В Наноцентре-Прометей освоена технология сверхзвукового холодного газодинамического напыления, основными особенностями которой являются низкие температуры частиц в гетерофазном потоке (80–120°C) и высокие скорости их переноса (до 2,5 М).

При использовании двух или более автономно работающих дозаторов технология позволяет получать функционально-градиентные покрытия с требуемой микротвердостью по толщине покрытия за счет регулируемого поступления из одного из дозаторов наноразмерного порошка (например, нанокорунда или WC фракции 30–80 нм). Это обеспечивает высокую адгезионную и когезионную прочность покрытия и кардинальное повышение микротвердости от подложки к поверхности. Например, для коррозионностойкого сплава Al–Zn–Sn микротвердость может управляемо изменяться от 45 до 350 HRC при одновременном снижении пористости от 5 до 0,2–0,5%. Это обеспечивает значительное повышение износостойкости и коррозионной стойкости покрытия при работе в жестких условиях эксплуатации, что особенно эффективно для пар трения, запорных систем, элементов систем управления и т. п.

Практика показала несомненную перспективность разработанной технологии также для оперативного восстановления и ремонта ответственных деталей и узлов транспортной техники, прецизионного машино- и приборостроения в походных и полевых условиях.

3.3.8.3 Получение объемно-пористых наноструктурированных покрытий методом микроплазменного напыления

Специфической особенностью Наносцентра-Прометей является разработка и освоение нескольких взаимосвязанных перспективных технологий получения функциональных покрытий. Это позволяет, во-первых, получать покрытия с кардинально улучшенным комплексом свойств и, во-вторых, создавать совершенно разные по функциональным задачам покрытия. В частности, разработан и запатентован метод роботизированного микроплазменного напыления, который позволяет сохранить без деградации исходную структуру напыляемого материала в функциональном покрытии, а также, в отличие от традиционных газотермических методов напыления, наносить покрытия на тонкостенные изделия без опасности их перегрева и коробления, обеспечивая высокую адгезионную и когезионную прочность покрытия с развитой регулируемой мультипористостью.

Освоение указанных технологий и создание указанного научно-технического задела позволяет приступить к фундаментально-прикладным исследованиям по созданию функционально-градиентных и многослойных покрытий с реализацией существенно новых эффектов, в т.ч.:

- эффекта «лотоса», т.е. создание абсолютно несмачиваемых поверхностей за счет модификации периферийной волоконной структуры;
- эффекта «дельфина», исключающего образование кавитационного следа в жидкой среде;
- эффекта «хамелеона», адаптивно изменяющего цветовую гамму поверхности.

3.3.9 Термостойкие защитные наноструктурированные покрытия

Новый этап развития ракетно-космической, авиационной и атомной техники вновь инициировал интерес специалистов к дальнейшим разработкам конструкционных материалов и покрытий, в том числе металлических. Экстремальные условия эксплуатации изделий вынуждают ужесточить требования к уровню и стабильности свойств разрабатываемых материалов и покрытий. Решить возникающие при этом проблемы невозможно без привлечения тугоплавких металлов, расширения круга простых и сложных веществ в качестве основных компонентов разрабатываемых материалов и покрытий, создания новых технологий, позволяющих эффективно использовать для изготовления изделий сложной формы тугоплавкие, термодинамически активные и труднодеформируемые материалы.

Проведенный анализ состояния исследований в области конструкционных материалов на основе тугоплавких металлов и соединений показал,[126] что тугоплавкие монокарбиды и дибориды переходных металлов, характеризующиеся высокой износостойкостью при интенсивных механических и температурных нагрузках, представляют большой научный и практический интерес. Весьма перспективен также путь использования вольфрама, молибдена, циркония, гафния и особенно тантала и их сплавов, на базе которых создаются эффективные конструкционные материалы для энергетики, космической техники и прецизионного машиностроения.[127]

В качестве примера можно привести тугоплавкие соединения в виде карбидов и боридов. Особый интерес представляют монокарбиды и дибориды переходных металлов IV и VI групп периодической системы – титана, циркония, гафния, ванадия, ниобия, тантала, молибдена, вольфрама. Температурная стабильность этих соединений отражает прочность их межатомных связей вплоть до температур 1600-2000°С. В сочетании с тугоплавкими сплавами систем V-Ti-Nb, Nb-Mo-W-Zr, W-Cr и Ta-W становится реальным создание композиций «сплав-карбид», соответствующих самым жестким требованиям для ракетно-космической и энергетической техники.[128].

3.3.10 Объемно-пористые нанокатализаторы

Объемно-пористые композиты широко используются в качестве базового материала для создания эффективных современных каталитических систем, в т.ч. электродных материалов на основе интерметаллидов системы Ni-Al для водоактивированных химических источников тока и тепла, которые могут быть использованы в составе аварийно-спасательных средств, и каталитических материалов на основе Al_2O_3 для систем паровой конверсии получения водорода из природного газа и паров воды. [129]. Ужесточение условий эксплуатации таких систем требует разработки новых каталитически-активных материалов, в том числе с элементами наноструктуры, а также новых технологических подходов их получения и обработки и новых более точных методов диагностики их структуры и свойств.

ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» имеет реальный опыт в создании химических источников тока и тепла, а также систем конверсии углеводородного сырья в водородосодержащее топливо для гиперзвуковых энергетических систем. [130].

Водород рассматривается сейчас как основа водородной энергетики будущего. Выбор его в качестве идеального и экологически чистого энергоносителя обусловлен тем, что он имеет наиболее высокую теплоту сгорания на единицу массы ($120 \cdot 10^6$ Дж/кг) по сравнению с другими видами топлива (для сравнения – удельная теплота сгорания метана

$35 \cdot 10^6$ Дж/кг), а продуктом сгорания его в кислороде является водяной пар. В связи с этим роль водорода в общем энергетическом балансе будет возрастать по мере истощения традиционных источников энергии. Разработка технологий получения водорода, его сепарации, накопления и хранения является не менее важной задачей, чем разработка энергоисточников, потребляющих водород.

В настоящее время основным способом получения водорода является каталитическая конверсия углеводородов с водяным паром в широком диапазоне температур (300-900° С).

Обычно процесс паровой конверсии в промышленности осуществляется в трубчатых колоннах-печах, обогреваемых снаружи и заполненных гранулированным катализатором. Однако традиционные катализаторы имеют принципиальные недостатки, существенно ограничивающие. А в ряде случаев, исключающие возможность их применения в таких областях техники, как ракетная и авиационно-космическая.

Структурные характеристики объемно-пористого покрытия, такие как удельная поверхность и радиус пор, оказывают сложное взаимосвязанное влияние на его активность. Знание удельной поверхности катализаторов очень важно при изучении гетерогенных процессов: для каждого процесса может быть подобрана некоторая оптимальная пористая структура катализатора, определяемая соотношением скоростей химических превращений и диффузии веществ, участвующих в данном процессе. С помощью управляемой микроплазмы получены мультипористые композиции, обеспечивающие двухступенчатую конверсию углеводородного сырья в водородное топливо со степенью конверсии до 80%. [131].

Краткосрочной научно-технической задачей является изучение механизма сверхскоростного гетерогенного катализа для реализации его в термохимических реакторах гиперзвуковых систем.

Изучение специфики мультипористых нанокатализаторов на основе интерметаллических соединений на основе системы Ni-Al позволило также создать высокоемкие химические источники тока и тепла ХИТТ с удельной энергоемкостью до 250 Вт ч/кг. [132].

Следующим этапом функционально-прикладных исследований по созданию высокоемких ХИТТ на основе интерметаллидов должно быть изучение влияния мультипористых систем на теплофизические процессы, эффективно реализуемые в аварийно-спасательных комплексах на море.

3.3.11 Эффективные бескартриджные системы очистки воды

Использование наноматериалов позволяет эффективно решать актуальные вопросы экологии, в том числе связанные с очисткой воды. Специалистами ЦНИИ КМ «Прометей» разработана технология реактивного вакуумного магнетронного напыления активных функционально-градиентных покрытий на основе оксидов титана и рутения (типа ОРТА) с высокой адгезионной и когезионной прочностью к титановой подложке. [133].

Одним из наиболее комплексных и перспективных методов очистки воды является электросорбционный. Использование в таких установках очистки воды анодов типа ОРТА позволяет проводить высококачественную водоподготовку. Электросорбционный [134] метод находит применение, когда традиционные способы химической, биологической и физико-химической обработки воды оказываются недостаточно эффективными или не могут использоваться по каким-либо причинам. Применение электросорбционных методов очистки воды основано на пропускании через воду с сорбентом постоянного электрического тока с помощью погруженных электродов. В качестве сорбентов используются твердые кварцевые или полимерные пористые материалы, способные взаимодействовать с загрязняющими компонентами в электрическом поле иначе, чем в его отсутствии (например, поляризуемый гранулированный наполнитель). При этом неорганические катионы и анионы притягиваются к поверхности электрода и адсорбируются под влиянием электрического поля. Органические вещества разрушаются в межэлектродном пространстве в процессе анодного окисления, либо за счет атомарного кислорода или хлора, образующихся в анодном пространстве. Наложение электрического поля на обрабатываемую жидкость может вызвать необратимое агрегатирование микроорганизмов.

Примеры окислительных процессов на анодах:

- Разрушение формальдегида: $\text{НСНО} + 2\text{Н}_2\text{О} - 4\text{е}^- \rightarrow \text{СО}_3^{2-} + 6\text{Н}^+$
- Разрушение метилового спирта: $\text{СН}_3\text{ОН} + 2\text{Н}_2\text{О} - 6\text{е}^- \rightarrow \text{СО}_3^{2-} + 8\text{Н}^+$

Подобные системы могут выполнять полную очистку воды от всех видов микрочастиц органического и неорганического происхождения: простейших, бактерий, вирусов и продуктов их жизнедеятельности, нерастворимых углеводов; способны смягчать и очищать воду от таких токсичных компонентов как ионы тяжелых металлов, марганца, фосфаты, соединения азота, сульфиды, цианиды, меркаптаны, фенолы и др. при сохранении необходимых для организма ионов калия и натрия.

Совместно с консорциумом «ЭлектроЭкоТехнологии» проводятся работы по внедрению анодов с покрытием типа ОРТА, полученных методом магнетронного

напыления. В частности, такие аноды уже используются в установках очистки воды типа «Каскад». Лучшей рекомендацией таких установок является безотказная эксплуатация в президентском Константиновском дворце под Санкт-Петербургом.

3.3.12 Аддитивные технологии

Процесс послойного объединения строительного материала с целью создания реального объекта по спроектированной 3D модели называется аддитивной технологией-AdditiveManufacturing (AM) или Additivefabrication (AF). В отличие от традиционных производственных технологий, которые основаны на принципе удаления лишнего материала, аддитивные технологии основаны на принципе добавления материала. При этом в результате технологического процесса остается только готовое изделие без лишних отходов производства, что способствует существенной экономии. Ещё одним преимуществом по сравнению с традиционными технологиями является то, что при помощи технологий 3D прототипирования можно изготавливать объекты любой формы и сложности. Важно, что такие технологии являются экологически чистыми.

В настоящее время востребованы аддитивные технологии, которые в качестве строительного материала используют металлопорошковые композиции различных сплавов, а рабочим инструментом является лазерное излучение.[135]

На базе ФГУП «ЦНИИ КМ « Прометей» создан комплекс получения наноматериалов и оперативного контроля их свойств в составе современного технологического и диагностического оборудования. [136]. Общим подходом является организация научно-исследовательских комплексов, состоящих из отдельных лабораторий и проводящих исследования и разработки по модульному принципу. Комплекс позволяет изготавливать металлические дисперсные материалы, полимерные и металлические изделия сложной геометрии на основе 3D модели, а также проводить восстановительный ремонт и нанесение покрытий при помощи лазерного спекания и наплавки. В состав комплекса входят:

- Hermigagasatomizer(PSI, Великобритания) – установка для получения сферических порошков;

- LENS 750 (Optomec, США) – лабораторно-исследовательская установка для изготовления различных изделий, проведения восстановительного ремонта, нанесения покрытий;

- EOSintM270(EOS,Германия) – установка для создания функциональных изделий сложной геометрии;

- Perfactory Extrim (Envisontech, США) – установка для получения изделий из фотополимера.

Освоение указанного комплекса позволяет в настоящее время приступить к прикладным исследованиям и изучению функциональных зависимостей «структура-аддитивная технология – свойство» для оптимизации температурно-скоростных режимов получения 3D изделий сложной формы из широкого спектра сплавов на основе Fe, Ni, Co, Ti и их композиций включениями на основе оксидов, нитридов и карбидов. [137].

3.3.13 Углеродные наноматериалы

Открытие в конце XX века новых форм существования чистого углерода (кроме известных алмаза и графита) общепризнано мировым научным сообществом как одно из наиболее значимых по своим последствиям для человечества достижений науки [138,139]. Искусственным путем были получены не встречающиеся в природе упорядоченные структуры (кластеры) углерода в виде молекул сферической формы (фуллерены), состоящие из 60 и более атомов углерода, диаметров от 6,7 нм, цилиндрической формы (нанотрубки) и многослойные структуры типа нанолуковиц, состоящих из сотен тысяч атомов углеродов.

Изучение свойств СУН стало возможным после открытия в 1991 году достаточно технологичного способа их производства. Многочисленными исследованиями в основном в России, США и Германии была доказана такая высокая эффективность наноструктур по широчайшему спектру технологий и сфер жизнедеятельности человека, что Правительство США признало нанотехнологию как новую промышленную революцию XXI века и придало ее статус приоритетной Национальной программы, получившей название «Национальная Нанотехнологическая Инициатива» (ННИ).

Фактическое положение в РФ по организациям, занимающимся нанотехнологиями таково, что из общего их числа (порядка 70-90 организаций) из-за недостаточности финансирования академической школы инициатива и наибольшие успехи принадлежат небольшим частным фирмам, наиболее активные из которых находятся в Санкт-Петербурге. Функции координации их деятельности выполняет ЗАО ЭНПЦ «ПРИМОРЬЕ», являющееся одновременно основным разработчиком технологии промышленного производства СУН. В своей деятельности фирма опирается на тесное взаимодействие с академической школой и коллективами, работающими над прикладными проектами.

На данном этапе основное внимание уделяется решению специфической для текущего момента двудеиной задачи – созданию эффективной промышленной технологии

производства СУН, гарантирующей качество, номенклатуру и объемы поставок СУН по ценам, делающим рентабельным их использование, одновременно поддерживая и продвигая прикладные программы.

На сегодняшний день разработан не имеющий мировых аналогов промышленный комплекс получения СУН, позволяющий обеспечить потребности промышленности (такой, например, как нефтеперерабатывающая) в этом материале по цене 2,5 \$ за грамм, а не за 30-40 \$ за грамм.

Фуллерены получают электродуговым распылением графита в атмосфере гелия; давление газа составляет $1,33 \cdot 10^4$ Па. В результате горения дуги образуется сажа, которая конденсируется на холодной поверхности. Собранная сажа обрабатывается в кипящем толуоле или бензоле. После выпаривания раствора образуется черный конденсат, который примерно на 10-15% состоит из смеси фуллеренов C₆₀ и C₇₀. для получения фуллеренов вместо электрической дуги используют также электронно-лучевое испарение и лазерный нагрев [140].

Очень необычны свойства фуллеренов [141]. Так, кристаллические фуллерены представляют собой полупроводники и обладают фотопроводимостью, а кристаллы C₆₀, легированные атомами щелочных металлов, обладают металлической проводимостью и переходят в сверхпроводящее состояние при 30К и выше. Превращение кристаллического фуллерена в алмаз происходит даже при комнатной температуре при давлении 20ГПа, а при нагреве фуллерена до 1500К для перехода в алмаз достаточно давления 7ГПа. Растворы фуллеренов имеют нелинейные оптические свойства, что проявляется в резком уменьшении прозрачности раствора при превышении некоторого критического значения интенсивности оптического излучения.

Недавно у полимеризированной формы фуллерена C₆₀ при комнатной температуре обнаружены ферромагнитные свойства. Исследование показало, что полимеризованный фуллерен Rh-C₆₀ с ромбоэдрической структурой имеет температуру Кюри 500К и обладает типичной для ферромагнетиков кривой гистерезиса. При нагреве и деполимеризации образец Rh-C₆₀ теряет ферромагнитные свойства.

В начале 2001 года группа ученых обнаружила новую фуллереноподобную форму C₄₈N₁₂, в которой по сравнению с обычным фуллереном C₆₀ пятая часть атомов углерода замещена азотом. Если в кристаллах фуллерена молекулы C₆₀ объединяются слабыми Ван-дер-Ваальсовыми силами, то наличие атомов азота приводит к появлению сильных ковалентных связей. По этой причине фуллереноподобный кристаллический материал C₄₈N₁₂ обладает уникальными свойствами. Продукция предназначена для использования в прикладных направлениях, где в подавляющем большинстве случаев

фуллерены используются как активаторы, катализаторы или модификаторы в широком спектре технологий или в микродозах как расходные материалы, или как изделия многоразового использования (катализаторы, сорбенты). Поэтому в общем случае, расходы на модернизацию тех или иных технологий с помощью фуллеренов приводят к многократному улучшению потребительских свойств конечного продукта технологии или к качественно новой, ранее недостижимой эффективности. Поэтому соотношение затраты/эффект достаточно низки.

Весьма интересные результаты получены в ЗАО «НТЦ ПН» Пономаревым А.Н. и сотрудниками. Ими создан широкополосный гибкий радиопоглощающий материал для диапазона частот электромагнитного излучения 50-3000 ГГц с повышенной устойчивостью к внешним воздействиям, обеспечивающих эффективное подавление отражения на уровне не менее -20 дБ при различных углах падения внешнего электромагнитного излучения на основе использования новых видов наноуглеродных частиц со специфическими радиочастотными характеристиками.

По мнению разработчиков, созданный материал может иметь широкий спектр применения и обеспечить:

- Диапазон подавляемых частот, не менее, ГГц.....50-3000
- Максимальный угол изгиба, не менее, °С.....20
- Нормальный температурный диапазон эксплуатации, °С..-60-+200
- Максимальная температура эксплуатации
(не более 30 мин), °С.....500
- Максимальная отн. влажность окружающей среды, %.....100
- Максимальная активность водородных ионов в
окружающей среде - рН, не менее, отн.ед.....1,5
- Ослабление интенсивности внешнего
электромагнитного излучения при отражении в диапазоне
0°-90° по отношению к нормали к облучаемой
поверхности, не менее,- дБ.....20
- Снижение заметности летательных аппаратов в радиочастотном
диапазоне миллиметрового и субмиллиметрового диапазона;
- Защита изделий электронной техники от воздействия мощного
электромагнитного излучения в указанном диапазоне частот;
- Создание метрологических средств для исключения влияния
электромагнитных полей указанного диапазона частот на средства
измерений и испытательные стенды (безэховые камеры широкого

- температурного диапазона применения);
- Снижение заметности морских судов и специальных аппаратов в радиочастотном диапазоне миллиметрового и субмиллиметрового диапазона.

3.3.14 Наиболее приоритетные и перспективные фундаментальные и прикладные исследования

Проведенный анализ состояния и перспектив разработок в области конструкционных наноматериалов показывает, что имеется существенный научно-технический задел, полученный в основном за счет реализации «традиционных» технологий, адаптированных с учетом специфики получения и обработки наноматериалов. Для перехода к «квантовым» технологиям, позволяющим манипулировать кластерными структурами, необходимо выполнение целого комплекса фундаментальных и прикладных исследований, начиная от построения соответствующих математических и физических моделей и изучения научных основ создания широкого спектра конструкционных наноматериалов, функциональных зависимостей «структура-технология-свойство», а также механизма управляемого формирования соответствующих структур для широкого спектра материалов.

Перечень наиболее приоритетных и перспективных фундаментальных и прикладных исследований, разработанных в соответствии с проведенным анализом в области тенденций развития наноматериалов, представлен в виде таблицы 3.1.

Таблица 3.1

| <i>Создание наноматериалов с широкими функциональными возможностями, обеспечивающих производственную деятельность человека:</i> | | |
|---|--|---|
| Конструкционные н/м | Функциональные н/м | Композиционные н/м |
| <ul style="list-style-type: none"> - наноструктурированные азотистые стали; - экономнолегированные хладостойкие стали с фрагментированной структурой; | <ul style="list-style-type: none"> - магнитные наноматериалы и нанокомпозиты; - «интеллектуальные» и сенсорные наноматериалы; - наноструктурированные многофункциональные и функционально-градиентные покрытия; - нановолокна и нанопровода; | <ul style="list-style-type: none"> - антифрикционные металлополимерные композиты; - легковесные вибропоглощающие и ударостойкие полимерные композиты; - гибридные макронеоднородные металлополимерные композиты; -самоадаптирующиеся композиты. |

| Создаваемая новая наукоемкая техника на базе фундаментальных и прикладных исследований: | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - корпуса подводных и надводных кораблей; судовое оборудование нового поколения в немагнитном исполнении; - установки для нефтепереработки и очистки; бурильные, нефтяные и газовые трубы; - контейнеры; химические реакторы; оборудование для обработки древесины и производства целлюлозы; - медицинская техника; - конструкции и оборудование, эксплуатирующееся в экстремальных условиях климатического холода; - стационарные плавучие платформы для освоения нефтегазовых месторождений арктического шельфа; - морской и наземный трубопроводный транспорт; - несущие конструкции высокоскоростных железнодорожных и монорельсовых магистралей, путевой инфраструктуры и мостов; | <p>Системы для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защиты от помех и несанкционированного доступа линий связи, РЛС, навигационных и приборных комплексов; - электромагнитной защиты биологических объектов; - защиты от электромагнитного оружия и антитеррористической деятельности; - чувствительных элементов датчиков и физических приборов, термометров и магнитных карт; | <ul style="list-style-type: none"> - крупногабаритные подшипники скольжения, работающие при смазке водой; - вибропоглощающие и виброударостойкие материалы для транспортных судов; - крупногабаритные конструкции скоростных транспортных средств; - системы защиты биологических объектов от механических воздействий; |
| <p><i>Создание наноматериалов, обеспечивающих разработку новых перспективных вооружений, военной и специальной техники:</i></p> | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Гетерогенные стали с наноструктурированными включениями; - Наноматериалы и нанокомпозиты с металлической, полимерной и керамической матрицей; - Интерметаллиды; - Функционально-градиентные и многослойные покрытия; - Тонкие пленки; | | |
| <p>Создаваемая новая наукоемкая техника на базе фундаментальных и прикладных исследований:</p> | | |

| | |
|---|---|
| <p>Системы для решения военно-технических задач, в т. ч:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разведка; - связь; - целеуказание, наведение; - преодоление преград и помех; - постановка помех; - защита от внешних воздействующих факторов (ВВФ); - снижение заметности техники; - восстановление и ремонт ВВСТ | |
| <p><i>Создание наноматериалов для борьбы с загрязнением окружающей среды:</i></p> | |
| <p>Объемно-пористые металлооксидные композиты и функционально-градиентные покрытия</p> | <p>Конструкционные малоактивируемые стали</p> |
| <p>Создаваемая новая наукоемкая техника на базе фундаментальных и прикладных исследований:</p> | |
| <p>Системы для снижения вредного воздействия выхлопных газов транспорта и отходов промышленных предприятий</p> | <p>Атомные водяные энергетические реакторы стационарного и транспортного типа</p> |
| <p><i>Создание наноматериалов для использования пространства (использование космоса, мирового океана):</i></p> | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Интерметаллиды на основе переходных металлов; - Аморфные материалы | |
| <p>Создаваемая новая наукоемкая техника на базе фундаментальных и прикладных исследований:</p> | |
| <p>Системы для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - гиперзвуковых летательных аппаратов и высокоскоростных судов; - химических источников тока, активизируемых морской водой для глубоководной техники и аварийно-спасательных комплексов; - теплообменные модули энергетических установок; | |
| <p><i>Создание наноматериалов для реализации социально-важных базовых технологий:</i></p> | |
| <p>Каталитические наноматериалы и мембранные композиты</p> | |
| <p>Создаваемая новая наукоемкая техника на базе фундаментальных и прикладных исследований:</p> | |
| <p>Системы для решения военно-технических задач, в т. ч:</p> <ul style="list-style-type: none"> - катализаторов для получения водородосодержащего топлива методом паровой конверсии; - хранения, накопления и использования водорода; - твердооксидных топливных элементов; - мембранной очистки водорода; - эффективной очистки и опреснения воды; - очистки техногенных сред. | |

3.3.15 Характеристика научно-технического потенциала научных организаций Петербурга

Дать характеристику научно-технического потенциала основных научных организаций Санкт-Петербурга, специализирующихся на исследованиях и разработках в

области наноматериалов, из-за отсутствия целевого финансирования для составления специальной базы данных не представляется возможным. В качестве примера могут быть приведены данные о научном потенциале ЦНИИ КМ «Прометей», как головной организации отрасли в области конструкционных наноматериалов в сети ННС, а также данные некоторых других организаций СПб, приведенные в разделе «Современное состояние и тенденции развития фундаментальных научных исследований в области механохимических технологий».

ФГУП "ЦНИИ КМ "Прометей" обладает высоким научным потенциалом в области решения фундаментальных и прикладных проблем материаловедения.

Высокий уровень разработок института обеспечивается высококвалифицированными научными и инженерными кадрами, в числе которых: 156 специалистов с ученой степенью, в их числе - 23 доктора наук, 124 кандидатов наук (из них 126 - занимаются научно - исследовательской деятельностью). Ученое звание профессора имеют 10 докторов наук. Учёное звание старшего научного сотрудника – 42 специалиста с ученой степенью, доцента – 14.

В числе докторов наук - 2 доктора наук в возрасте до 40 лет, 15 кандидатов наук, активно занимающихся научно-исследовательской работой в возрасте от 25 до 40 лет. Институт имеет базовую кафедру «Функциональные материалы и технологии» при Санкт-Петербургском Государственном политехническом университете (СПб ГПУ) на факультете технологии и исследования материалов, где на конец 2013 г. обучается 13 магистров и 10 бакалавров. Лекции и лабораторные занятия со студентами базовых кафедр проводят ведущие учёные – доктора наук ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей" и СПб ГПУ.

На базе ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» и СПб государственного морского технического университета создан Научно - образовательный центр «Новые материалы и современные технологии их получения» и базовая кафедра, обеспечивающая учебный процесс по специальности 150501 - «Материаловедение в машиностроении», где обучается 42 студента.

Подготовка научных кадров в ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» осуществляется в соответствии с Федеральным законом об образовании в Российской Федерации № 273-ФЗ от 29.12.2012 г, в части подготовки научно-педагогических и научных кадров в Российской Федерации, и Лицензией Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Министерства образования и науки на право ведения образовательной деятельности аспирантуры института. На основании представленных материалов, в отчётном году ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» получена бессрочная

лицензия серии 90Л01 № 0000761 (рег. № 0710 от 29.04.2013г.) на право ведения образовательной деятельности по 7 научным специальностям:

05.02.10 - сварка, родственные процессы и технологии.

05.16.01 - металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

05.16.02 - металлургия черных, цветных и редких металлов.

05.16.05 - обработка металлов давлением.

05.16.08 - нанотехнологии и наноматериалы (машиностроение, металлургия).

05.16.09 - материаловедение (машиностроение, металлургия).

05.17.03 - технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

В настоящее время в связи с вступлением в действие с 01.09.2013г Федерального закона об образовании в Российской Федерации № 273-ФЗ от 29.12.2012 г. ведётся работа по подготовке материалов к процедуре аккредитации основных образовательных программ послевузовского образования и переоформлению лицензии.

Аспирантуре ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» более 65 лет. Всего в аспирантуре на конец 2013г обучается 29 аспирантов, из них 5 - очной формы обучения и 45 соискателей, в группах по подготовке к сдаче кандидатских экзаменов по истории и философии науки на 01.01.2014г обучается 18 специалистов.

За более, чем 70 летний период в ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей" сформированы и активно функционируют 3 *крупные научные школы* (объединившие шесть ранее сформированных школ). В 2013 году все 3 научные школы включены в Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга, утверждённый Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга.

Научная школа:

«Фундаментальные и научно-прикладные работы в обеспечение создания перспективных высокопрочных свариваемых сталей, полимерных композиционных материалов, средств защиты от коррозии и многофункциональных покрытий для широкого применения в надводном и подводном кораблестроении». Руководитель: академик РАН, д.т.н., профессор Горынин Игорь Васильевич

Научная школа:

«Фундаментальные и научно-прикладные работы по созданию перспективных конструкционных материалов (сталей, никелевых и титановых сплавов) для оборудования атомной энергетики, работающего в экстремальных условиях». Руководитель: Заслуженный машиностроитель РФ д.т.н., доцент Орыщенко Алексей Сергеевич

Научная школа:

«Фундаментальные и научно-прикладные работы в обеспечение создания перспективных хладостойких и нержавеющей сталей для морских сварных конструкций, эксплуатирующихся в Арктике». Руководитель: Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор Малышевский Виктор Андреевич.

В перспективе, при условии, что темп притока молодых специалистов в наш институт не снизится, количество аспирантов будет расти, в том числе в связи с созданием научно-технологического комплекса по разработке конструкционных наноматериалов, как инфраструктуры узла национальной нанотехнологической сети мирового уровня, а также наличием в аспирантуре института специальности «Нанотехнологии и наноматериалы». В этом случае реальна перспектива создания в институте ещё одной научной школы, разрабатывающей научные основы для отечественной индустрии конструкционных наноматериалов.

Работа с молодыми учёными и специалистами:

Создание научно-образовательных центров, участие в различных конкурсах, конференциях, меры по материальной поддержке учёных, необходимо приложить ещё много усилий, основной задачей которых является приток специалистов с учёной степенью в институт. Для поддержки наиболее талантливых молодых учёных и специалистов ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», в целях стимулирования их творческой деятельности и научной активности в области материаловедения и высоких технологий в институте по личной инициативе академика РАН И.В. Горынина создан фонд, который и носит его имя. Ежегодно присуждаются премии по 2-м номинациям: лучшая научная работа и лучший научный доклад, представленный на международную конференцию.

С июня 2002 года в институте проводится ежегодная конференция молодых ученых и специалистов в возрасте до 33 лет. Конференция не только дает возможность молодым специалистам обрести опыт публичного выступления с научным докладом но и научиться отстаивать свою научную точку зрения, помогает устанавливать творческие контакты внутри института и вне его. не только представленный доклад, но и квалификационный уровень самого докладчика. Ежегодно в работе конференции принимают участие молодые ученые и известные специалисты из ВУЗов и других организаций и стран. Информация и материалы конференции представляются на сайте ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». В 2013 году на конференции было представлено 45 докладов по основным направлениям научно-исследовательской деятельности института, 16 докладов представили молодые специалисты из других организаций Российской Федерации и 3 доклада представили молодые ученые из Лаппеенрантского университета

(Финляндия), *всего - 64 доклада.* За высокий научно-технический уровень представленных докладов и хороший профессиональный уровень победители конференции - 17 молодых специалистов награждены дипломами и денежными премиями.

С 2011 года Конференция молодых ученых и специалистов проходит аккредитацию по программе «У.М.Н.И.К.» Фонда содействия развитию малых форм предприятия в научно-технической сфере. В 2013 году участниками программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К. - 2013») на Грант фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «Технологии. Внедрение. Наука» молодыми специалистами были представлены 2 работы.

Диссертационные советы

Диссертационные советы по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата технических наук в институте функционируют с 1947 года. На основании решения Президиума Высшей аттестационной комиссии приказом Министерства образования и науки от 11 апреля 2012г №105/нк признан соответствующим Положению и утверждён диссертационный совет Д 411.006.01 по приёму к защите докторских и кандидатских диссертаций по трём научным специальностям 05.16.01, 05.16.09 и 05.02.10. Кроме того при ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» функционирует диссертационный совет ДС 411.006.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальным проблемам по двум научным специальностям 05.16.09 и 05.02.10., утверждён приказом Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки от 22.10.2010г. № 119дсп.

На конец 2013года в диссертационных советах института защищены 7 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кроме того, в диссертационных советах других организаций защитил кандидатскую диссертацию 1 специалист предприятия. На 2014 год запланирована защита не менее 8 диссертаций, в том числе 2 докторских, темы которых уже утверждены на заседании Научно-технического совета предприятия. 12 специалистов предприятия работают над докторскими диссертациями, над кандидатскими диссертациями завершают работу 11 специалистов института, закончивших аспирантуру ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей".

В 2013г Указом Президента Российской Федерации *за создание нового класса высокорadiационностойких материалов для корпусов атомных реакторов и методов продления срока их эксплуатации* Заслуженному деятелю науки Российской Федерации,

доктору технических наук, профессору Карзову Георгию Павловичу присуждена Государственная премия РФ в области науки и технологий 2012 года.

В соответствии с распоряжения Президента РФ в настоящее время 4 специалиста института получают стипендию Президента РФ за выдающиеся заслуги для работников организаций оборонно-промышленного комплекса РФ (Сахаров И.Ю., Лобынцева И.В., Александров Н.В., Ворона Р.А.) .

В 2013 г. 4 человека получили стипендию Президента РФ за выдающиеся заслуги для работников организаций оборонно-промышленного комплекса РФ и 7 человек стипендию для молодых работников организаций оборонно-промышленного комплекса РФ.

Выводы

(1) Проведен тщательный анализ состояния и основных тенденций развития в области наноматериалов конструкционного назначения в ведущих зарубежных странах (США, Страны Европейского Союза, Китай, Япония, Израиль, Индия) и России. Приводятся данные о наиболее крупных мировых центрах, в которых ведутся исследования в области конструкционных наноматериалов, технологий их получения, обработки и создания на их основе конструкционно-функциональных элементов широкого спектра применения.

(2) На конкретном примере наиболее характерного вида исходных наноматериалов – порошковых композиций, полученных методом управляемого механохимического синтеза, приводятся данные:

- о современном состоянии и тенденциях развития фундаментальных научных исследований в области прогрессивных механохимических технологий;
- о ведущих научных центрах в области механохимии в мире и России и основных направлениях фундаментальных научных исследований, проводимых ими в области дисперсных конструкционных материалов;
- о наиболее перспективных и приоритетных направлениях развития фундаментальных научных исследований на среднесрочную перспективу до 2020 года (мировые тренды) и далее до 2025 года с учетом созданной инфраструктуры и научных школ в ведущих научных учреждениях Санкт-Петербурга;
- о реальных возможностях практического использования наиболее перспективных направлений для развития наукоемких отраслей экономики Санкт-Петербурга.

(3) Приводятся конкретные примеры перспективных исследований и разработок, реализованных в качестве научно-технического задела в области конструкционно-функциональных элементов с использованием исходных дисперсных наноматериалов, в т.ч.:

- интеллектуальных материалов, метаматериалов и адаптивных композиций;
- функционально-градиентных и многослойных наноструктурированных покрытий на основе композиционных плакированных и поверхностно-армированных порошковых материалов;
- термостойких защитных наноструктурированных покрытий;
- объемно-пористых нанокатализаторов;
- наноструктурированных элементов для эффективных бескартриджных систем очистки воды;
- аддитивных технологий для послойного синтеза 3d изделий сложной формы;
- углеродных наноматериалов широкого спектра применения.

(4) На основании указанного комплекса аналитических работ обоснованно определены основные направления по изучению научных основ и механизма создания новых наноматериалов, в т.ч.:

- конструкционных, функциональных и композиционных наноматериалов с широкими функциональными возможностями, обеспечивающими производственную деятельность человека;
- наноматериалов с качественно новым комплексом свойств для перспективных вооружений, военной и специальной техники;
- наноструктурированных композиций и функционально-градиентных покрытий для борьбы с загрязнением окружающей среды;
- наноматериалов с интерметаллидной и аморфно-матричной структурой для использования пространства (использование космоса, мирового океана);
- нанокомпозитов каталитического и мембранного типа для реализации социально-важных базовых технологий (промышленная экология, альтернативная энергетика).

(5) Проведенный анализ состояния исследований и разработок в области конструкционных наноматериалов показывает, что имеется определенный научно-технический и технологический задел, позволяющий решать конкретные практические задачи. Однако для динамичного развития этого перспективного инновационного направления и с учетом возможностей решения поставленных задач научно-техническим

потенциалом Петербурга необходимо проведение фундаментальных исследований в следующих основных направлениях:

- Изучение научных принципов фрагментации структуры в объеме конструкционных сплавов и сталей при термомеханической обработке и интенсивной пластической деформации.
- Изучение механизма физико-химического взаимодействия в системе «металл–неметалл-газовая фаза» в процессе получения наноструктурированных композиционных порошков методами управляемого механосинтеза.
- Разработка математических моделей функционально-градиентных покрытий и оптимизация на их основе температурно-скоростных параметров компьютеризированных сверхзвуковых процессов гетерофазного напыления.
- Разработка научных основ создания мультипористых нанокатализаторов для эффективных систем водородной и альтернативной энергетики.
- Комплексное исследование функциональных зависимостей «состав-структура-технология свойства» нанокристаллических магнитомягких материалов и создание на их основе широкополосных систем электромагнитной защиты технических средств и биологических объектов.
- Исследование механизмов формирования гетерофазных особо прочных структур с наноразмерными элементами при реализации аддитивных технологий формирования 3d изделий особо сложной формы.
- Разработка с использованием физического моделирования научно-технологических подходов создания метаматериалов на базе наноструктурированных литых микропроводов.

Каждое из указанных основных направлений фундаментальных исследований может быть определено, как целевое комплексное исследование в области конструкционных наноматериалов и конструкционно-функциональных элементов на их основе и реализовано в виде самостоятельного проекта.

(б) Приводится краткая характеристика научно-технического потенциала некоторых организаций Санкт-Петербурга (подробно - на примере ЦНИИ КМ «Прометей»).

3.4 Подходы и перспективы развития в машиностроении

Объектом исследования являются тенденции развития фундаментальной науки в мире и России, а также сравнительное (экспертное) сопоставление достигнутых уровней знаний и реализация их в промышленной продукции в машиностроении.

Цель работы – выявление областей науки и техники, определяющих эффективное экономическое развитие и безопасность страны, в которых Россия отстаёт от уровня лучших мировых достижений.

Результаты работы позволят при планировании исследований уточнить и конкретизировать наиболее значимые направления с учетом возможностей финансового, научно-производственного и образовательного потенциала Санкт-Петербурга.

В последние годы в РФ сформировались определенные группы фундаментальных научных исследований в зависимости от состава исполнителей, порядка и источников их финансирования. Выполненный анализ свидетельствует, что сформировавшийся в последнее время подход к организации проведения фундаментальных научных исследований, а также наметившиеся тенденции необоснованного смещения вектора таких исследований в сторону вузовской науки практически отстраняют от этого важнейшего вида научной деятельности отраслевые научные институты и в первую очередь Государственные научные центры. Более того, финансирование фундаментальных исследований, выполняемых в ГНЦ, практически не предусмотрено. В тоже время в Государственной программе РФ «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы, целью которой является обеспечение эффективной координации фундаментальных научных исследований, реализуемых в интересах РФ, в частности, в подпрограмме 1 отмечается, что достижение задачи развития фундаментальных научных исследований обеспечивается в ходе выполнения мероприятий, среди которых - выполнение фундаментальных научных исследований государственными научными центрами.

Недооценка возможностей проведения фундаментальных научных исследований ГНЦ является принципиальной ошибкой Минобрнауки РФ. В то же время проведенный анализ и опыт жизни показывает, что отраслевой сектор науки выполняет достаточно широкий спектр фундаментальных исследований, как в части получения новых знаний, так и в части научного обеспечения реализации стратегических и технологических приоритетов страны. Его возможности позволяют выполнять до 40% и более всех требуемых фундаментальных исследований. Более того, по ряду абсолютных показателей по оценке результативности отечественных фундаментальных исследований отраслевая

наука опережает не только научные центры образовательных учреждений, но и отдельные институты РАН. Это связано с тем, что интеллектуальные, инструментальные, технологические и технические возможности ГНЦ на порядки превосходят вузовскую науку и не уступают самым передовым институтам РАН.

Повышение эффективности фундаментальных научных исследований следует связывать с объединением усилий государственных академий наук, государственных научных центров, высших учебных заведений. Объединение усилий позволит в первую очередь обеспечить опережающее развитие междисциплинарных исследований и разработок, а также создание принципиально нового междисциплинарного научного задела, обеспечивающего научно-технологический прорыв по приоритетным направлениям экономики РФ.

Формы объединения могут быть различными, например, путем создания высокоэффективных центров коллективного пользования, единых технологических платформ, научных инкубаторов и т.д.

3.4.1 Основные тенденции развития фундаментальных исследований. Научные центры

Тенденциям развития мировой фундаментальной науки посвящены десятки публикаций. Одна из последних – коллективный труд «Тенденции развития российской и мировой науки» авторов Л.Э. Миндели, Т.Ю. Медведева, С.Ф. Остапюка, 2014 г., 471 стр.

В мире насчитывается ограниченное число стран, ведущих научный поиск практически во всех областях знаний. Это - Россия, США, Япония, Великобритания, ФРГ, Франция, Израиль, Китай. Другие страны концентрируют свои исследования на отдельных направлениях фундаментальной науки, связанных с их сформировавшимися научными школами, природно-ресурсным потенциалом, экономическими возможностями, приоритетами научно-технологической политики. Например, на конец первого десятилетия XXI века в мире насчитывается более 5 тыс. «мозговых научных центров», работающих, в том числе, в области фундаментальных, фундаментально-поисковых и прикладных исследований. Наибольшее их число концентрируется в Северной Америке – 1,9 тыс. (37,9%) и Западной Европе – 1,2 тыс. (23,6%). Значительно меньше таких центров в Азии – 601 (11,8%), Восточной Европе – 483 (9,5), Латинской Америке – 408 (8,0), Африке – 274 (5,4) и на Ближнем Востоке – 192 (3,8%).

В 2009 г. был опубликован рейтинг 10-ти ведущих научных центров США, который на тот период времени определялся следующим образом:

- Брукингский институт;

- Совет по международным отношениям;
- Фонд Карнеги за международный мир;
- Корпорация «РЭНД»;
- Фонд «Наследие»;
- Международный научный центр Вудро Вильсона (Woodrow Wilson International Center for Scholars);
- Центр стратегических и международных исследований;
- Американский институт предпринимательства;
- Институт Катона;
- Лос-Аламосская национальная лаборатория (ЛАНЛ) США;
- Гуверовский институт.

В более широкий список, включающий 30 ведущих центров, согласно этому исследованию, входят такие известные институты, как Институт международной экономики Петерсона (Peterson Institute for International Economics), Национальное бюро экономических исследований (National Bureau for Economic Research), Гудзоновский институт, Институт проблем города, Институт «Восток-Запад» (The East West Institute), исследовательская организация «Ресурсы для будущего» (Resources for the Future) и др.

В каждой области знаний и науки имеются свои признанные центры. Например, основным инструментом для исследования проблем корабельной гидромеханики и, в первую очередь, для исследования ходкости перспективных кораблей и судов в мире созданы и функционируют основные глубоководные бассейны, представленные в таблице 3.4.1.

Одним из наиболее совершенных бассейнов для проведения мореходных испытаний является бассейн, созданный в Кардероке (США). Кроме этого в США имеются достаточно совершенные бассейны для исследования управляемости кораблей и судов, а также буксировочных испытаний.

В качестве перспективных направлений фундаментальных научных исследований, выполняемых за рубежом, например, в области ядерной энергетики можно отметить следующие:

- исследования по физике плазмы на мощных лазерных установках;
- исследования вопросов термоядерного зажигания в системах с магнитным обжатием;
- исследования сверхсильных магнитных полей, создаваемых мощными взрывомагнитными генераторами;
- разработки в интересах мюонного катализа;

Таблица 3.4.1 – Основные глубоководные бассейны

| № п/п | Местонахождение (страна) | Год постройки | Чаша, м | | | Буксирная тележка | | | Максимальная длина модели, м | Волнопродуктор | | |
|-------|--------------------------|---------------|---------|--------|---------|--------------------------|----------|--------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------|--------------------|
| | | | Длина | Ширина | Глубина | Наибольшая скорость, м/с | Масса, т | Мощность двигателей, кВт | | Тип | Создаваемое волнение | Планарный механизм |
| 1 | Варна (Болгария) | 1976 | 200 | 16 | 6,5 | 6 | 49 | 416 | 12 | Пластинчатый | Регулярное - нерегулярное | Имеется |
| 2 | Фелтем (Великобритания) | 1959 | 396 | 14,0 | 7,6 | 15,3 | 42 | 1200 | 9,2 | Плунжерный | Регулярное - нерегулярное | - |
| 3 | Гамбург (Германия) | 1955 | 300 | 18,0 | 6,0 | 8,0 | - | - | 12,0 | Пластинчатый | Регулярное - нерегулярное | Имеется |
| 4 | Рим (Италия) | 1974 | 470 | 13,5 | 6,5 | 15,0 | - | 370 | 10,0 | - | - | Имеется |
| 5 | Вуси (Китай) | - | 474 | 14,0 | 7,0 | 20,0 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | Теджен (Корея) | 1996 | 400 | 14,0 | 7,0 | 18,0 | - | 720 | 9,6 | Плунжерный | Регулярное - нерегулярное | Имеется |
| 7 | Вагенинген (Нидерланды) | 1932 - 1948 | 575 | 15,5 | 6,7 | 9,12 | 18,0 | 150 | 9,0 | - | - | - |
| 8 | Тронхейм (Норвегия) | 1939 1948 | 260 | 13,5 | 5,6 | 8,0 | 20,0 | - | 8,0 | Плунжерный | Регулярное - нерегулярное | - |
| 9 | Гданьск (Польша) | 1973 | 246 | 11,9 | 5,8 | 12,0 | - | 720,0 | 8,0 | Пластинчатый | Регулярное - нерегулярное | - |
| 10 | Санкт-Петербург (Россия) | 1965 | 653 | 15,0 | 7,0 | 16,0 | - | 800 | 12,0 | - | - | - |
| 11 | Кардерок (США) | 1947 | 575 | 15,8 | 6,7 | 10,3 | - | 150 | 9,0 | Пневматический | Регулярное - нерегулярное | Имеется |
| 12 | Валь де Рой (Франция) | - | 545 | 15,0 | 7,0 | 12,0 | 120 | - | 14,0 | - | Регулярное - нерегулярное | - |
| 13 | Токио (Япония) | 1965 | 400 | 18,0 | 8,0 | 15,0 | - | 840 | 15,0 | Пластинчатый | Регулярное - нерегулярное | - |

- исследования развития гидродинамических неустойчивостей;
- исследования уравнений состояния веществ;
- исследования динамической прочности материалов;
- исследования радиационной прочности материалов;
- исследования в области лазерно-энергетических технологий;
- исследования в областях биофизики (магнитные поля, радиация).

Проблемами металловедения и физики прочности занимаются сотни зарубежных научных центров и фирм. Среди них можно, например, отметить Bosch Group (Нидерланды), Nissan Motor (Япония), General Motors (США), General Electric (США), Chalk River Nuclear Laboratories Atomic Energy of Canada, Академия наук Швеции, Исследовательский центр компании "Миттал Стил" (США) и др.

По мнению специалистов признанными в этой области являются зарубежные научные центры и университеты городов: Леобен и Вена (Австрия); Фрайберг, Аахен и Клаусталь (Германия), Нанси (Франция) и штат Айова (США).

Среди зарубежных научных центров, занимающихся междисциплинарными исследованиями, на одно из первых мест следует поставить НИЦ имени Лэнгли (США). НИЦ им. Лэнгли оказывает существенное влияние на перспективы развития авиации США по всем ее направлениям. Центр обладает мощной экспериментальной базой, состоящей из 40 аэродинамических труб, включая криогенную трансзвуковую трубу с натурными числами Рейнольдса, более десяти экспериментальных установок для исследования свойств материалов, прочности конструкций и прогнозирования их ресурса. Особенно Центр известен в области аэротермодинамики, вычислительной аэрогидродинамики и аэроупругости, робототехники, систем воздушно-реактивных двигателей. Кроме того НИЦ является одним из ключевых центров NASA в разработке систем управления летательных аппаратов, визуальной индикации и сетевых баз данных. Центр также успешно занимается исследованиями перспективных материалов и конструкций, выполненных из металлов и композитов, в том числе из карбонов.

Наибольшее число зарубежных исследовательских центров относится к авиации и космонавтике. Одним из старейших является Королевский авиационный научно-исследовательский институт в Великобритании, образованный в 1918 г. на базе Королевского авиационного завода (Royal Aircraft Factory). Крупными исследовательскими организациями являются также Национальное управление авиационно-космических исследований во Франции и Научно-исследовательский институт авиации и космонавтики ФРГ. Подобные организации широкого профиля были

созданы и во многих других странах: в Индии – Национальный авиационный институт (National Aeronautical Laboratory), основан в 1959; в Канаде – Национальный авиационный научно-исследовательский институт (National Aeronautical Establishment), основан в 1951; в КНР – Китайский аэродинамический научно-исследовательский центр (China aerodynamics research and development centre), образован в 1976; в Нидерландах – Национальный научно-исследовательский институт по авиации и космонавтике (National Luchten Ruimtevaart-laboratorium), основан в 1919; в Польше – Институт авиации (Instytut Lotnictwa), основан в 1926; в Румынии – Национальный институт научных и технологических исследований (Institut National de Creation Scientifique et Technique); в Чехословакии – Авиационный исследовательский и испытательный институт (Vyzkumny a Zkusebni Letecky Ustav), основан в 1922; в Швеции – Авиационный научно-исследовательский институт (Hygtekhniska Forsoksantalten), основан в 1940; в Югославии – Институт воздухоплавательной техники (Vazduhoplovna tehnic'ki institut), основан в 1946; в Японии – Национальный институт по авиации и космонавтике (National Aerospace Laboratory), основан в 1955 г.

Теоретическим и экспериментальным изучением характеристик конструкционных материалов и материаловедением в целом, в США занимается множество учебных заведений, лабораторий, исследовательских центров и отдельных инженеров-консультантов.

Известны, например, фундаментальные работы, которые проводятся в лабораториях и на кафедрах Стэнфордского университета, Калифорнийского университета, Лихайского университета, Корнеллского университета, Центра композиционных материалов Делавэрского университета и др.

Большой объем исследований осуществляют научно-исследовательские центры и лаборатории крупнейших промышленных фирм. Тематика работ каждого участника складывается под влиянием конкретных заказов производственных фирм, наличия научно-исследовательских кадров и лабораторного оснащения.

В Калифорнийском университете дополнительно проводятся широкие теоретические и экспериментальные исследования в сфере сейсмических и динамических расчетов рамных систем в упругой и упруго-пластических областях работы, изучаются эксплуатационные характеристики узловых сопряжений различного типа, исследуются демпфирующие свойства некоторых рамных жестких и гибких систем и каркасов.

В Канзасском университете проводят большую работу по аналитическому и экспериментальному исследованию решетчатых прогонов; созданию и совершенствованию методики расчета этих видов легких конструкций.

Корнеллский университет известен комплексом исследований и практической разработкой теории расчета тонкостенных холодноформованных профилей. Здесь изучают влияние холодного формования на прочностные характеристики тонколистовой стали, проблемы продольного и поперечного изгиба тонкостенных настилов и гнутых стержней в упругой и упруго-пластической стадиях работы, роль настилов в создании жесткого диска покрытия и др.

Наибольший круг вопросов охватывают Американский институт стальных конструкций и Американский институт чугуна и стали.

Специальными материалами занимается, например, Лаборатория NETL (National Energy Technology Laboratory – национальная лаборатория энергетических технологий), Управление бронетанковой техники TACOM (Tank-Automotive and Armaments Command), Лаборатория военных исследований ARL и др.

Фундаментальными исследованиями в области высоких наукоемких технологий, в том числе нанотехнологий, активно занимаются Делфтский технический университет (Нидерланды), а также Католический университет Лёвена (Бельгия) и Университет Южной Калифорнии (США).

3.4.2 Развитие отечественных фундаментальных и фундаментально-поисковых исследований

Условием эффективного использования, как фундаментальных знаний, так и созданных на их основе технологий является концентрация научного потенциала, финансовых и материально-технических ресурсов на приоритетных направлениях развития науки и техники. Под ними понимаются основные области исследований и разработок, реализация которых должна обеспечить значительный вклад в социально-экономическое и научно-техническое развитие страны и в достижение за счет этого национальных социально-экономических целей. В каждом из приоритетных направлений развития науки и техники можно выделить некоторую совокупность критических технологий. Под критическими технологиями понимаются такие технологии, которые носят межотраслевой характер, создают существенные предпосылки для развития многих технологических областей или направлений исследований и разработок и дают в совокупности главный вклад в решение ключевых проблем реализации приоритетных направлений развития науки и техники.

В конечном счете, выбор перспективных направлений фундаментальных и фундаментально поисковых исследований в значительной степени определяется прогнозом их практического освоения в виде наиболее востребованных инновационных технологий. В настоящее время наиболее востребованные инновационные технологии представляются научным и производственным сообществом в виде, так называемых критических технологий.

3.4.2.1 Критические технологии, определяющие направления фундаментальных и фундаментально-поисковых исследований в интересах инновационного развития в исследуемой области

В качестве таких критических технологий, применительно в выбранной предметной области выполненных исследований, а также с учетом приоритетных направлений их внедрения могут быть отнесены:

1. *Безопасная и эффективная энергетика:*

- Технологии создания интеллектуальных энергетических систем, базовые технологии силовой электротехники;
- Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;
- Технологии новых и возобновляемых источников энергии;
- Технологии создания энергоэффективных и безопасных систем транспортировки, распределения и использования энергии;
- Технологии использования углеводородного сырья, создания новых продуктов, материалов и средств преобразования энергии.

2. *Транспортные средства и системы:*

- Технологии создания экологически чистого и энергоэффективного транспорта;
- Технологии высокоскоростной транспортировки пассажиров и грузов;
- Технологии интеллектуального управления транспортными средствами и потоками;
- Технологии строительства и эксплуатации транспортной инфраструктуры, обеспечения безопасности на транспорте.

3. *Космические средства и системы:*

- Технологии создания размеростабильных и крупногабаритных конструкций ракетной и космической техники;
- Технологии создания целевой аппаратуры средств наблюдения космического пространства и Земли в различных диапазонах электромагнитного спектра;

- Технологии унифицированных спутниковых платформ и их компонентов;
 - Технологии электронной компонентной базы, устойчивой к воздействию факторов космического пространства;
 - Технологии использования результатов космической деятельности.
4. *Информационно-коммуникационные технологии и системы.*
5. *Передовые производственные технологии и новые материалы:*
- Компьютерные технологии проектирования, математического моделирования, инженерного анализа, оптимизации и визуализации материалов, конструкций и процессов;
 - Технологии диагностики новых материалов и наноструктур;
 - Технологии получения и обработки функциональных и конструкционных материалов;
 - Технологии интеллектуальных производственных систем;
 - Технологии мехатроники и робототехники;
 - Технологии управления производством.

6. *Экологическая безопасность.*

Следует особенно подчеркнуть, что обоснованный перечень наиболее приоритетных и перспективных исследований в анализируемой предметной области должен базироваться на основе анализа мировых тенденций и прогнозных оценок положения РФ на рынках наукоемких технологий в различных областях науки и отраслях экономики.

3.4.2.2 Прогнозная оценка позиции РФ на рынках наукоемких технологий

Прогнозная оценка была выполнена по двум основным критериям:

- Усиление позиции РФ на мировых рынках на базе широкого внедрения результатов фундаментальных и фундаментально-прикладных исследований;
- Возможности РФ по «встраиванию в глобальные цепочки» инновационного развития экономики.

Результаты экспертных оценок по этим двум критериям по всем направлениям научно-технологического развития представлены на рисунке 3.4.1.

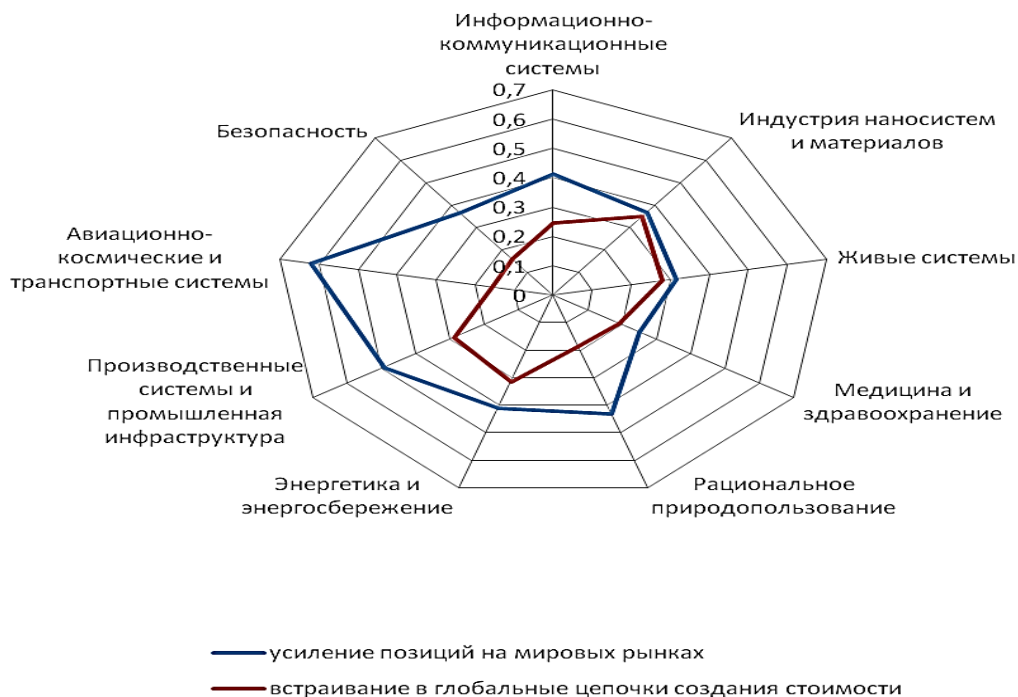


Рисунок 3.4.1 – Распределение ответов экспертов «усиление позиции на мировых рынках» и «встраивание в глобальные цепочки» по направлениям прогноза

В Проекте долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации (до 2025 г.) представлены аналогичные зависимости по всем важнейшим критическим технологиям: рис 3.4.2. – 3.4.10.

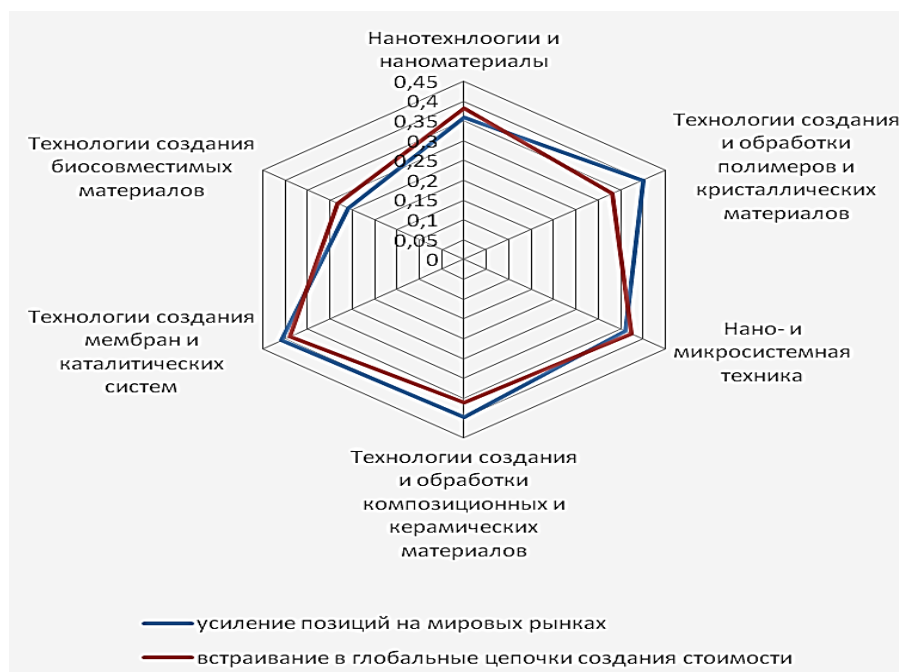


Рисунок 3.4.2 – Распределение ответов экспертов по критериям «усиление позиции на мировых рынках» и «встраивание в глобальные цепочки создания добавленной стоимости» по направлению «Индустрия наносистем и материалов»

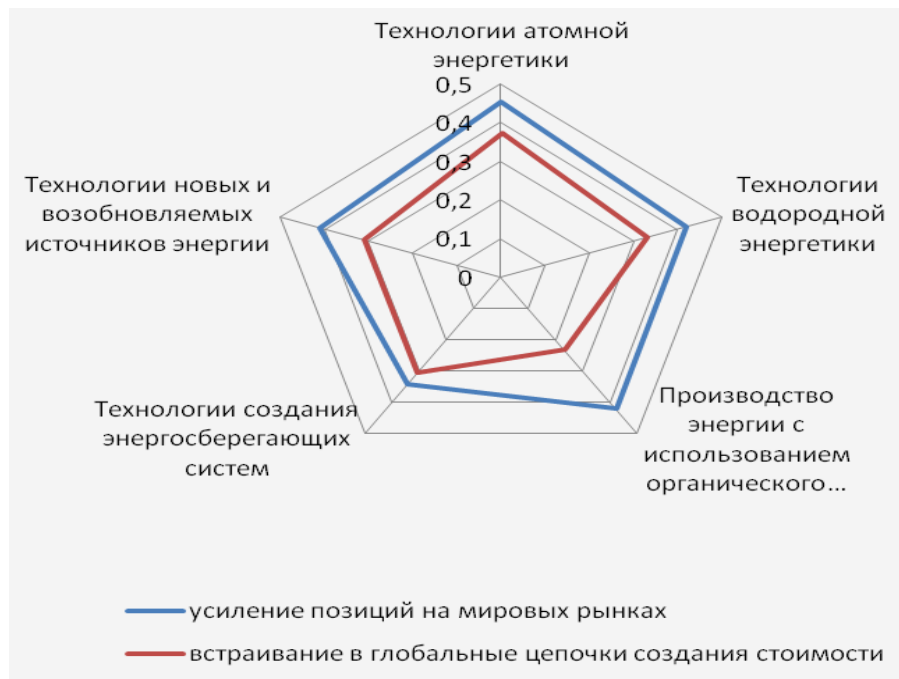


Рисунок 3.4.3 – Распределение ответов экспертов по критериям «усиление позиции на мировых рынках» и «встраивание в глобальные цепочки создания добавленной стоимости» по направлению «Энергетика и энергосбережение»

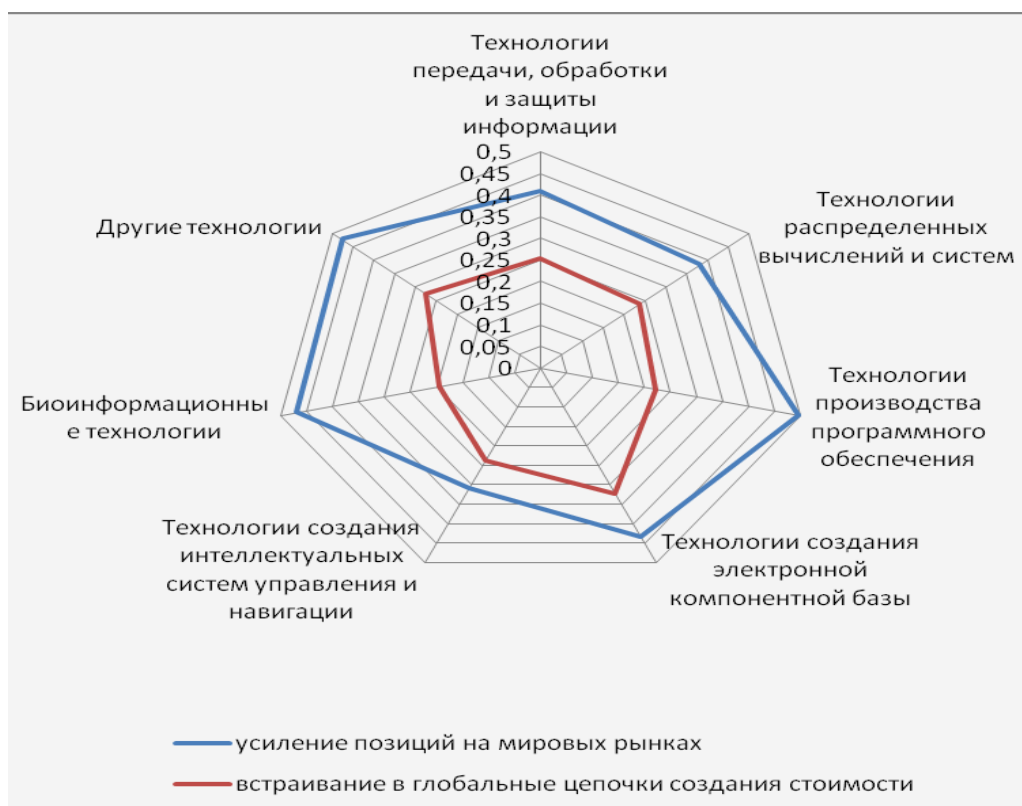


Рисунок 4.4. – Распределение ответов экспертов по критериям «усиление позиции на мировых рынках» и «встраивание в глобальные цепочки создания добавленной стоимости» по направлению «Информационно-телекоммуникационные системы»

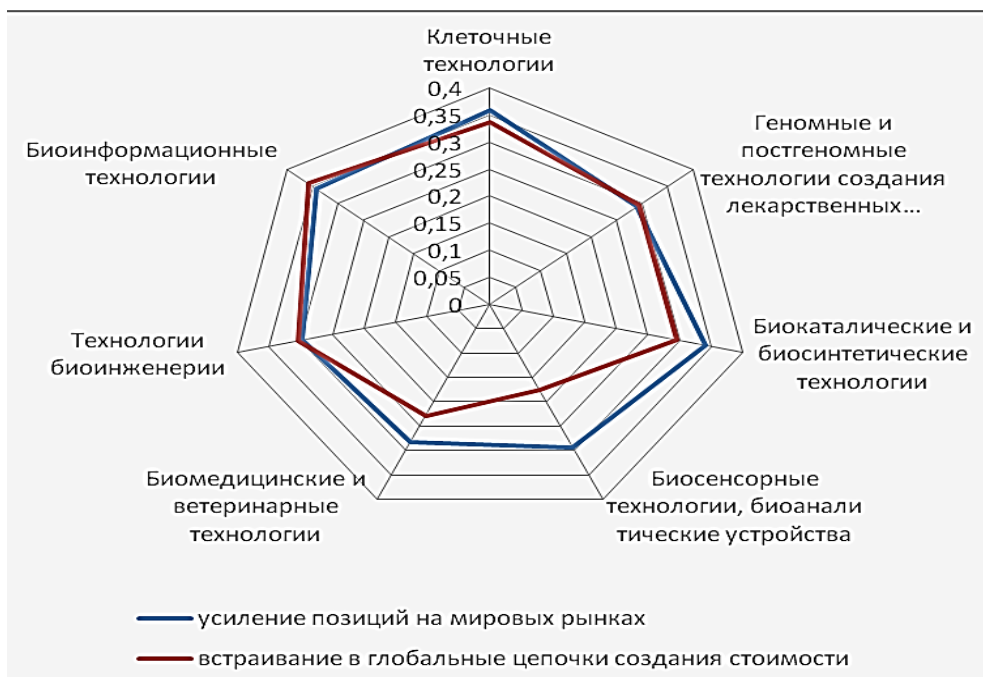


Рисунок 3.4.5 – Распределение ответов «усиление позиции на мировых рынках» и «встраивание в глобальные цепочки» по направлению «Живые системы»

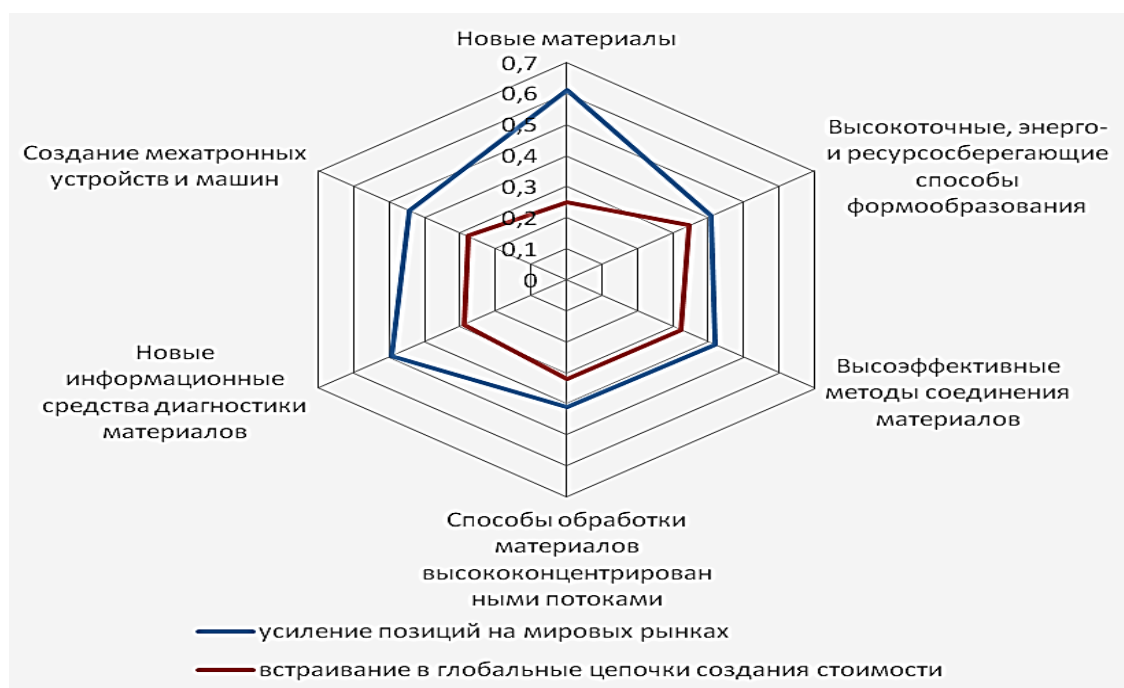


Рисунок 3.4.6 – Распределение ответов «усиление позиции на мировых рынках» и «встраивание в глобальные цепочки» по направлению «Производственные системы и промышленная инфраструктура»

Ниже представлены распределения экспертных оценок возможного вклада различных технологических направлений в решение социальных проблем и экономических проблем.



Рисунок 3.4.7 – Распределение экспертных оценок возможного вклада технологических направлений в решение социальных проблем

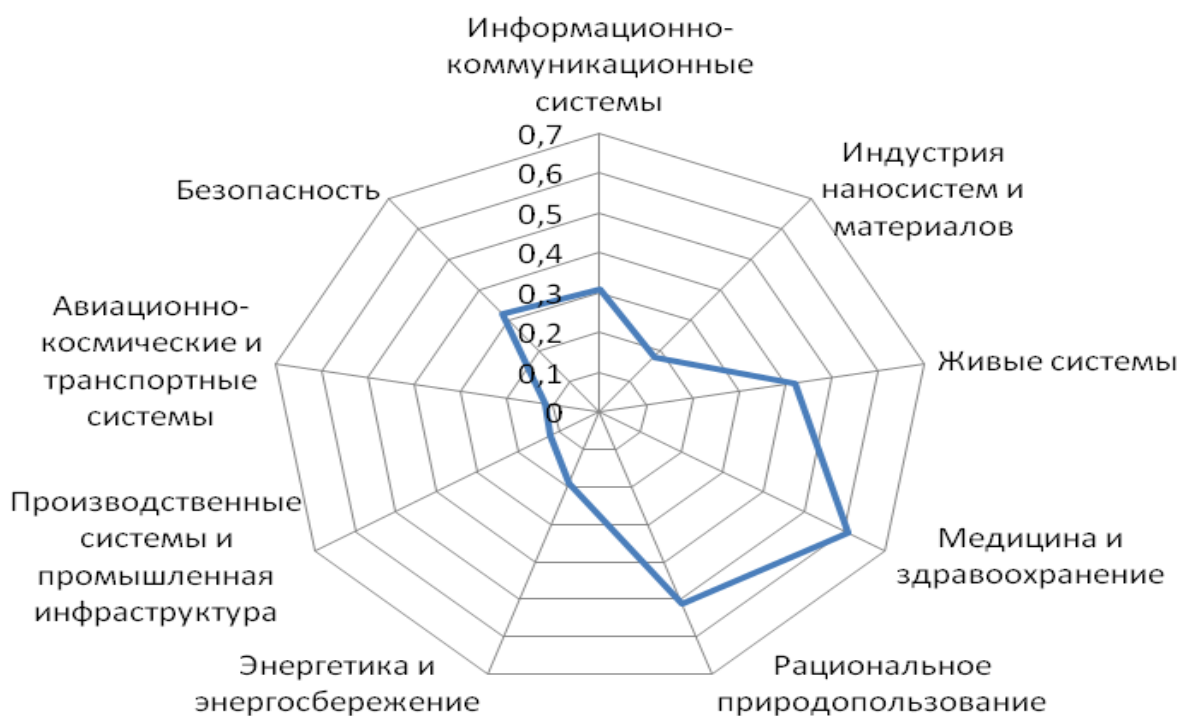


Рисунок 3.4.8 – Распределение экспертных оценок возможному вкладу тематических областей направления «Медицина и здравоохранение» в решение социальных проблем

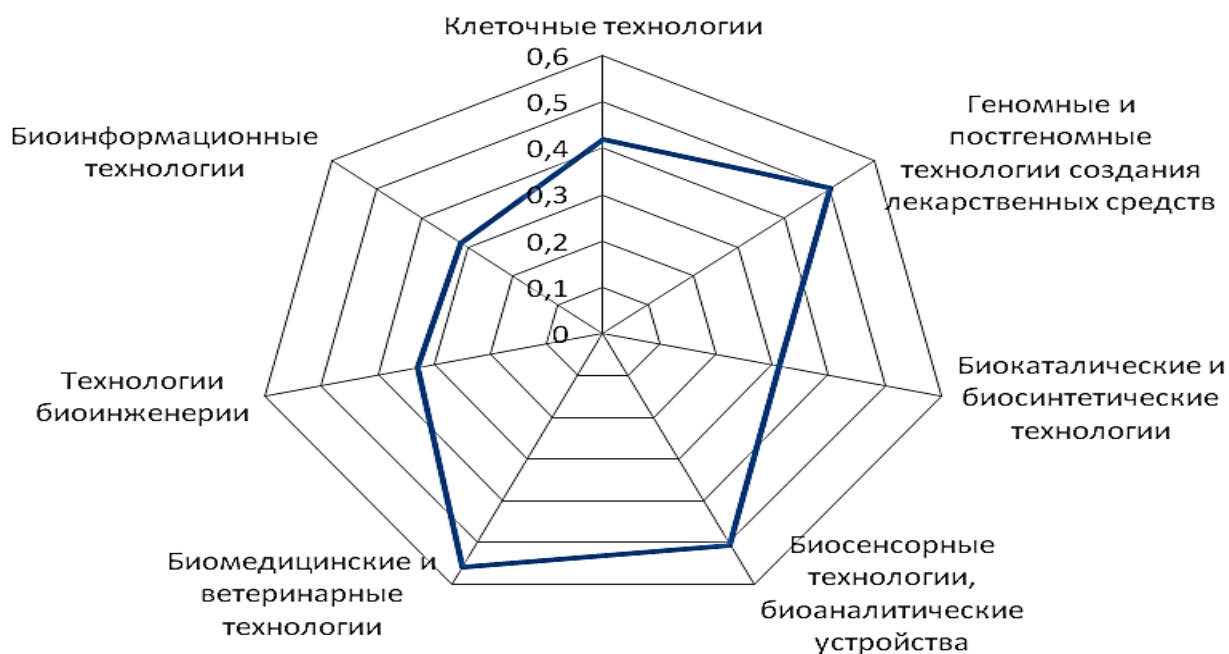


Рисунок 3.4.9 – Распределение экспертных оценок возможному вкладу тематических областей направления «Живые системы» в решение социальных проблем

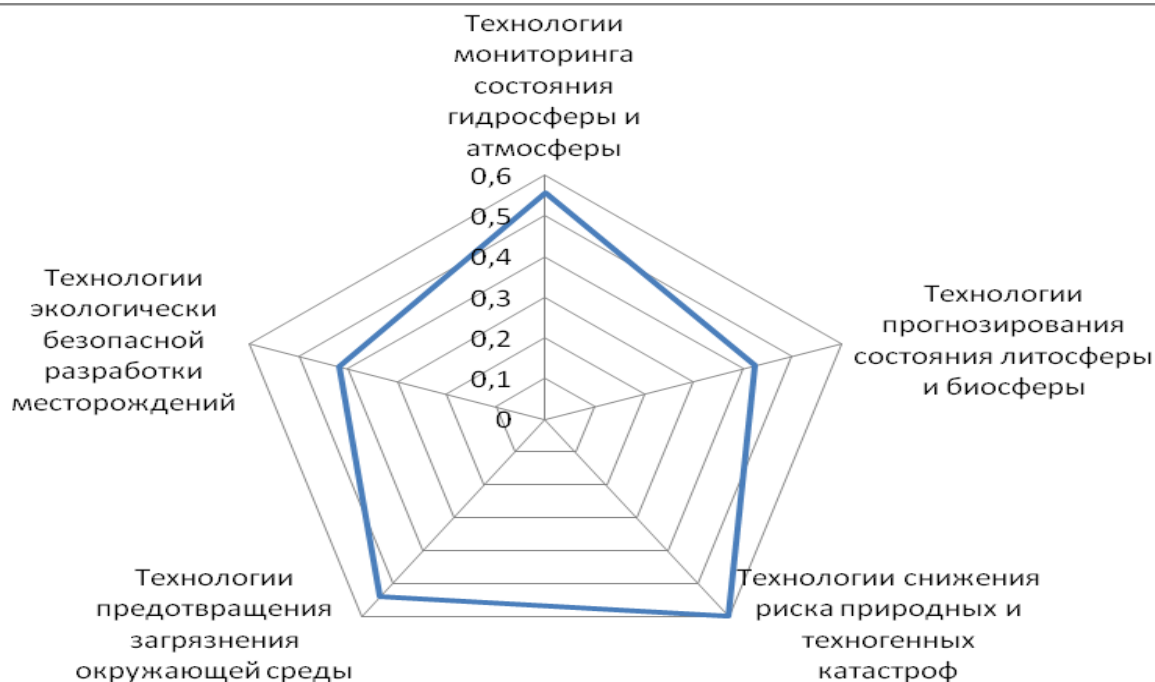


Рисунок 3.4.10 – Распределение экспертных оценок возможному вкладу тематических областей направления «Рациональное природопользование» в решение социальных проблем

Особо необходимо подчеркнуть, что для группы направлений научно-технологического развития, вследствие их существенной роли в формировании конкурентных преимуществ и обеспечении инновационного развития экономики, собственно экономические последствия (усиление позиций на мировых рынках; встраивание в глобальные цепочки создания стоимости; повышение конкурентоспособности на внутренних рынках) являются чрезвычайно важными показателями для выбора приоритетов.

К сожалению, в этих важнейших для развития цивилизации в XXI веке областях в России сложилась, прямо скажем, тупиковая ситуация. Так, на долю России приходится чуть больше половины процента мирового экспорта воздушных и космических аппаратов, менее одной десятой процента фармацевтических продуктов, одна сотая процента - продуктов биотехнологической промышленности, две сотые процента – электронно-вычислительной и офисной техники, одна десятая процента телекоммуникационного оборудования. Особенно сложная ситуация имеет место в отечественном машиностроении, которая по своей сути и предназначению должно входить в число динамично развивающихся направлений.

3.4.2.3 Современное состояние и перспективы фундаментальных, фундаментально-поисковых и прикладных исследований в области энергетики, механики, гидромеханики и прочности

Приоритетные направления развития фундаментально-поисковых и прикладных исследований (ФППИ) как правило, формируются в обеспечение решения проблем создания новой техники в интересах обороны страны и безопасности государства. Совокупность приоритетных направления ФППИ до 2025 г сформирована (рис. 3.4.11) и утверждена.



Рисунок 3.4.11 – Структура приоритетных направлений ФППИ

Российской академией наук при участии секции прикладных проблем были разработаны прогнозы уровней научно-технологического развития России до 2025 г., которые сопоставлены с соответствующими уровнями мирового развития (рис. 3.4.12).



Рисунок 3.4.12 – Обобщенный прогноз достижимых уровней научно-технологического развития России по сравнению с мировым уровнем

Из представленных на рисунке 3.4.12 прогнозных оценок видно большее или меньшее отставание уровня научно-технологического развития в России практически по всем направлениям. Особенно заметное отставание характерно для направления механика, газо-аэро и гидродинамика, имеющего большое значение для совершенствования авиации и кораблестроения. Нельзя не обратить внимания на тот факт, что потенциальные возможности российской науки по всем рассмотренным направлениям оцениваются заметно выше, чем прогнозы реальных достижений. Это обстоятельство требует отдельного рассмотрения. В результате отставания общего уровня научно-технического развития в России можно предполагать, что отдельные элементы и конструкции таких чрезвычайно сложных, наукоемких образцов техники, к которым относятся корабли и суда, по уровню технического совершенства могут отставать от лучших зарубежных аналогов.

Совершенствование кораблей и судов морской транспортной системы и морской техники в целом, невозможно без прогресса в ряде смежных отраслей науки и техники,

достижения в которых органически аккумулируются в новых образцах судостроительной техники. В проекте перечня тематических областей поисковых и прикладных научных исследований по приоритетным направлениям развития науки и технологий, по меньшей мере, четыре направления:

- транспортные и космические системы;
- энергоэффективность и энергосбережение;
- новые материалы и нанотехнологии;
- рациональное природопользование.

Все эти направления практически в равной степени являются весьма важными для повышения потребительских качеств кораблей и судов. Они могут быть развиты и конкретизированы следующим планом перспективных исследований в интересах судостроительной промышленности с учетом возможности решения научно-технологических задач научным персоналом, которым обладает Санкт-Петербург.

Среди наиболее актуальных фундаментальных исследований в области гидродинамики можно выделить:

- обтекание тел при аномальном вихреобразовании;
- нелинейное взаимодействие вихрей в гидродинамическом поле винтов;
- несущая способность тонкостенных конструкций с дефектами;
- прямое компьютерное моделирование характеристик турбулентных пульсаций на поверхности тел различной формы и др.

Остановимся более подробно на проблеме фундаментально-поисковых исследованиях. Поисковые исследования охватывают работы, направленные на изучение путей и способов практического приложения теоретических выводов фундаментальных исследований. Основной задачей фундаментально-поисковых исследований является увеличение объема знаний для более глубокого понимания изучаемого предмета, а также разработка прогнозов развития науки и техники; открытие путей применения новых явлений и закономерностей. Поисковое исследование, направлено на определение перспективности работы над темой, отыскивание путей решения научных задач. Их проведение предполагает возможность вариантных разработок проблемы и выбор наиболее перспективного направления. Они опираются на известные фундаментальные исследования, хотя в результате поиска основные их положения могут быть пересмотрены. Поисковые исследования выполняют, как правило, ученые высшей квалификации отделений. Удельный вес поисковых работ, как по численности занятых

сотрудников, так и по объему исследований может составлять в научных учреждениях до 10-15%.

Перечень фундаментально-поисковых научных исследований должен содержать формулировку научных задач для расширения знаний о фундаментальных основах и новых явлениях в области научного направления данного подразделения, прямо не связанных с конкретной прикладной задачей.

В качестве примеров фундаментально-поисковых исследований можно привести:

- исследование закономерностей и принципов управления пограничным слоем в связи с появлением новых материалов, технологий и систем управления;
- выявление исходных знаний о влиянии упругости обтекаемых жидкостью конструкций на гидродинамические, гидрофизические и акустические характеристики;
- исследование закономерностей энергетического обмена между жидкостью и колеблющимся упругим телом в условиях его поступательного движения при постоянстве границ тела;
- исследование физических особенностей энергетического обмена между жидкостью и колеблющимся упругим телом в условиях изменения смоченной поверхности упругого тела;
- исследование устойчивости гидроупругих колебаний тел с поступательным движением;
- изучение закономерностей вынужденных колебаний тел, обусловленных воздействием гравитационных волн;
- изучение закономерностей вынужденных колебаний тел, обусловленных прониканием упругих тел в жидкость;
- создание суперкомпьютерных моделей кавитационных явлений в трубопроводах, арматуре, в пристеночных областях, разрезных конструкциях и пр.;
- изучение возможностей совмещенного моделирования гидродинамических, виброакустических и гидрофизических явлений;
- изучение закономерностей и количественная оценка влияния вихревых структур при маневрировании подводной лодки на гидродинамические, гидроакустические и магнито-электрические характеристики в жидкости с ненулевой соленостью;
- исследования процессов дифракции электромагнитных волн на телах сложной нерегулярной формы, расположенных вблизи взволнованной морской поверхности, направленные на разработку современной компьютерной технологии электромагнитного

проектирования малозаметных кораблей в радиолокационном, оптиколокационном (лазерном) и тепловом (инфракрасном) диапазонах частот электромагнитного излучения;

- исследований пространственно-временных процессов в электромагнитных цепях и т.д.

Перечень фундаментально-поисковых исследований, должен подкрепляться результирующей частью. Например, результаты фундаментальных и фундаментально-поисковых исследований теории упругих колебаний тел будут или были использованы:

- при разработке методов расчета прочности и надежности скоростных и высоко-скоростных судов;

- при разработке технологий повышения комфортабельности скоростных катамаранов, предложений по снижению сопротивления воды движению судна, при оценке внешних силовых воздействий на судовые конструкции и их материалоемкости путем рационального выбора формы соединительного моста и вертикального расстояния от нижней поверхности соединительного моста до уровня плоскости ватерлинии;

- при разработке технологии снижения внешних силовых воздействий на судовые конструкции и материалоемкости однокорпусных скоростных судов путем рационального выбора формы и мест установки пассивных крыльев-стабилизаторов качки.

Рассмотрим *перечень наиболее перспективных направлений развития фундаментальных и прикладных научных исследований по прикладной механике (в том числе и гидромеханике) и машиностроению с учетом возможностей их выполнения научным потенциалом Санкт-Петербурга.*

1) «Разработка технологии прогнозирования изменчивости гидрологического и ледового режима Арктики в важнейших районах осуществления морехозяйственной деятельности на основе комплексного анализа динамики климата в Арктическом и Североатлантическом регионах и разработка технологических систем оперативного экологического мониторинга трансграничного загрязнения особо охраняемых экосистем Арктики на основе дистанционного зондирования, автономных наземных и транспортируемых модульных измерительных комплексов»

Цель 1 фундаментального исследования: разработка на основе прогностических сценариев изменчивости гидрологического и ледового режимов сценариев и вариантов долгосрочных планов развития транспортных и добычных систем в арктическом регионе.

Задачи, требующие решения:

- Формирование прогнозных сценариев изменения климата и ледовой обстановки в Арктике на 30 лет;
- Формирование логистических схем арктического региона, применительно к различным средам, включая трассу СМП;
- Обоснование условий экономической привлекательности и разработка предложений и рекомендаций по реализации арктических транспортных систем, включая арктическую морскую транспортную систему в сравнении с существующими и перспективными традиционными мировыми логистическими схемами доставки различных грузов и пассажиропотоков;
- Обоснование потребности в транспортных средствах, включая специальные транспортные суда, для обеспечения наиболее предпочтительных вариантов логистических схем единой арктической транспортной системы в соответствии с принятыми к рассмотрению вариантами динамики изменения климата и ледового режима в регионе;
- Общая оценка технико-экономической эффективности вариантов развития транспортных систем арктического региона в соответствии с принятыми к рассмотрению вариантами логистических схем, а также динамики изменения климата и ледового режима в регионе.

Цель 2 фундаментального исследования: разработка технологических систем оперативного и долговременного экологического мониторинга трансграничного загрязнения особо охраняемых экосистем Арктики.

Задачи, требующие решения:

- Сбор, анализ и систематизация сведений, характеризующих экологическую обстановку в особо охраняемых экосистемах Арктики;
- Формирование критериев и параметров, определяющих степень или уровень трансграничного загрязнения особо охраняемых экосистем Арктики;
- Выбор физических принципов и обоснование состава и характеристик средств автономных наземных и транспортабельных модульных средств экологического мониторинга арктического региона;
- Подготовка предложений по составу и характеристикам средств для дистанционного мультиспектрального и спутникового зондирования систем оперативного и долговременного мониторинга трансграничного загрязнения Арктики;
- Техничко-экономическая оценка комплексной системы экологического мониторинга арктического региона.

2) «Комплексная безопасность промышленности и энергетики»

Цель фундаментального исследования: разработка единых организационно-технических и инновационных технологических решений, систем и схем в сфере обеспечения комплексной безопасности промышленности и энергетики, в первую очередь за счет реализуемых безопасных физических процессов, а также прогнозирования и предупреждения аварийных и чрезвычайных ситуаций.

Задачи, требующие решения:

А) Разработка технологий и систем управления комплексной безопасностью промышленности и энергетики:

- Разработка, выбор и обоснование инновационной технологии мониторинга, состояния и уровня безопасности объектов и процессов промышленности и энергетики;

- Разработка технологий технической и расчетно-аналитической поддержки управления и принятия решений обеспечения безопасности в реальном или квазиреальном масштабах времени, предупреждающих возникновение аварийных и чрезвычайных ситуаций;

- Разработка инновационных технологий математического и прямого компьютерного моделирования сложных технических систем промышленности и энергетики;

- Разработка инновационных технологий контроля и противоаварийного управления на всех этапах жизненного цикла наиболее сложных объектов промышленности и энергетики в реальном масштабе времени;

- Разработка инновационных технологий анализа и управления рисками;

- Разработка методологических основ, физических принципов и подходов прогнозирования научно-технологического развития промышленности и энергетики на далекую перспективу с использованием обоснованных критериев стратегических рисков.

Б) Разработка инновационных технологий и систем интеллектуальной технической диагностики и неразрушающего контроля объектов промышленности и энергетики:

- Разработка инновационных технологий, физических принципов и средств режимной диагностики промышленного и энергетического оборудования, а также систем тепло- и энергообеспечения без вывода их из эксплуатации.

- Разработка единых универсальных технологий диагностирования внутренней структуры материалов, основанные на различных принципах взаимодействия различных физических полей, в том числе комплексации их с компьютерной или иной визуализацией

результатов и вычислительным восстановлением нормальной трехмерной внутренней структуры объекта.

- Разработка модульных стационарных и переносных технологий неразрушающего контроля с использованием современных и перспективных методов и средств контроля с его высокой достоверностью.

- Разработка электрофизических или иных технологий охраны промышленных объектов, объектов перспективной энергетики и транспортной инфраструктуры.

3) «Разработка теории и предложений по техническому исполнению универсального эффективного сверхпроводникового электрического оборудования с широким использованием наноматериалов

Цель фундаментального исследования:

- формирование научно-технического задела по важнейшей критической энергосберегающей технологии, связанной с разработкой энерго-и ресурсосберегающего безопасного электрического оборудования повышенной эффективности и надежности;

- разработка практических рекомендаций по созданию сверхпроводникового электрического оборудования с использованием широкого ассортимента наноматериалов (высокотемпературных и низкотемпературных сверхпроводников, редкоземельных или иных постоянных магнитов, аморфных сплавов, теплоизоляционных материалов и др.).

Задачи, требующие решения:

- проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований и формирование научно-технического задела в области оценки перспектив развития энергетики и энергосбережения на базе сверхпроводимости и наноматериалов;

- разработка основных конструктивных и технологических решений по созданию элементов из высокотемпературных сверхпроводников. Разработка эскизного проекта модульного электрического агрегата на базе высокотемпературной сверхпроводимости и наноматериалов;

- разработка технического проекта и рабочей документации по созданию модульного электрического агрегата на базе высокотемпературной сверхпроводимости и наноматериалов.

4) «Прогнозирование развития безопасной стационарной и транспортной атомной энергетики ограниченной мощности с учетом критериев стратегических рисков»

Цель фундаментального исследования: разработка предложений по формированию облика перспективных научно-обоснованных безопасных подземных, подводных, стационарных и транспортируемых атомных энергетических технологий электро - и

теплообеспечения ограниченной мощности с использованием критериев стратегических рисков.

Задачи, требующие решения:

- Построение инновационного профиля и выявление центров ключевых компетенций решения проблемы создания безопасных подземных, подводных, стационарных и транспортируемых атомных энергетических технологий электро - и теплообеспечения ограниченной мощности среди региональных промышленных, образовательных, исследовательских организаций на региональном, национальном и международном уровнях с созданием единого центра координации;

- Выявление и прогнозирование наиболее вероятных и целесообразных тенденций будущего развития безопасных подземных, подводных, стационарных и транспортируемых атомных энергетических технологий электро - и теплообеспечения ограниченной мощности (в том числе проведение форсайта);

- Разработка структуры методов определения рисков для определения, нормирования и управления развитием безопасных подземных, подводных, стационарных и транспортируемых атомных энергетических технологий электро - и теплообеспечения ограниченной мощности по критериям стратегических рисков;

- Разработка предложений по выбору и обоснованию единых перспективных топливных циклов безопасных подземных, подводных, стационарных и транспортируемых атомных энергетических технологий электро - и теплообеспечения ограниченной мощности, определению номенклатуры оптимальных конструкционных материалов, по организации расчетов и теоретического анализа физики реакторов, теплогидравлики, прочности, надежности и безопасности;

- Разработка компоновки и принципиальных схем атомной паропроизводящей установки и ЯЭУ, а также конструкции реакторов и активных зон.

5) «Разработка технологий изготовления и исследование характеристик принципиально новых высокоэффективных, малошумных движителей на базе новых инновационных проектных подходов и перспективных композиционных и нанокomпозиционных материалов»

Цель фундаментального исследования: разработка технологий изготовления и конструктивного исполнения принципиально новых высокоэффективных, малошумных движителей на базе инновационных подходов к проектированию с использованием перспективных нанокomпозиционных материалов.

Задачи, требующие решения:

- Построение инновационного профиля и выявление центров ключевых компетенций решения проблемы создания новых высокоэффективных, малозумных двигателей на базе инновационных подходов к проектированию с использованием перспективных наноконпозиционных материалов среди региональных промышленных, образовательных, исследовательских организаций на региональном, национальном и международном уровнях с созданием единого центра координации;

- Выявление и прогнозирование наиболее вероятных и целесообразных тенденций будущего развития новых высокоэффективных, малозумных двигателей на базе инновационных подходов к проектированию с использованием перспективных наноконпозиционных материалов;

- Разработка технологии изготовления двигателей из наноструктурированных металлических и полимерных композитных материалов в различных комбинациях их применения в перспективных конструкциях, отличающихся большими внутренними потерями;

- Разработка конструкций и перспективных технологий 3-D изготовления гребных винтов или иных двигателей из перспективных наноконпозиционных материалов с различными, заранее заданными характеристиками вдоль хорды элемента лопасти.

б) «Разработка инновационного подхода принципиального снижения гидродинамического сопротивления при движении сложных объектов на базе широкого внедрения саморегулирующихся систем подачи структурированных, экологически безопасных полимеров (например, полиокса) в пограничный слой, а также путем создания на корпусе специального покрытия из нановолокон, обладающих волокнистой структурой определенной протяженности и повышенной прочности»

Цель фундаментального исследования: разработка теоретических основ, практических методов и средств снижения гидродинамического сопротивления движению сложных технических объектов на базе широкого внедрения систем подачи структурированных, экологически безопасных полимеров (например, полиокса) в пограничный слой, а также путем создания на корпусе специального покрытия из нановолокон, обладающих волокнистой структурой повышенной прочности.

Задачи, требующие решения:

- Построение инновационного профиля и выявление центров ключевых компетенций решения проблемы снижения гидродинамического сопротивления при движении сложных объектов на базе широкого внедрения систем автоматической саморегулирующейся подачи структурированных, экологически безопасных полимеров

(например, полиокса) в пограничный слой, а также путем формирования на корпусе специального покрытия из нановолокон, определенной длины и обладающих волокнистой структурой повышенной прочности среди региональных промышленных, образовательных, исследовательских организаций на региональном, национальном и международном уровнях с созданием единого центра координации;

- Выявление и прогнозирование наиболее вероятных и целесообразных тенденций будущего развития инновационных систем автоматической, саморегулирующейся подачи структурированных, экологически безопасных полимеров (например, полиокса) в пограничный слой;

- Системные исследования закономерностей изменения вязкостного потока в пограничном слое движущейся модели (или около корпуса движущегося в среде объекта) в растворе перспективного экологически безопасного структурированного полимера (полиокса) при условии изменения его концентрации в пограничном слое;

- Выбор и обоснование наиболее целесообразной нановолокнистой структуры, обладающей повышенной адгезионной и общей прочностью с требуемыми химическими, физическими, электрическими, оптическими и механическими свойствами;

- Исследование гидродинамических характеристик изделий с нанесенным многофункциональным нановолокнистым покрытием. Оценка возможности создания на основе таких покрытий так называемых «умных поверхностей или покрытий».

7) «Исследование физических закономерностей и характеристик полей следности движущихся в водной среде объектов с постоянной скоростью»

Цель фундаментального исследования: разработка физических основ, принципов и методов контроля и снижения полей следности движущихся в водной среде объектов с постоянной скоростью.

Задачи, требующие решения:

- Построение инновационного профиля и выявление центров ключевых компетенций решения проблемы исследования физических закономерностей и характеристик полей следности (например, Кильватерного следа) движущихся в водной среде объектов с постоянной скоростью среди региональных промышленных, образовательных, исследовательских организаций на региональном, национальном и международном уровнях с созданием единого центра координации;

- Выявление и прогнозирование наиболее вероятных и целесообразных тенденций снижения Кильватерного следа движущихся в водной среде объектов с постоянной

скоростью, который, по сути, представляет собой область свободной турбулентности морской среды;

- Исследование влияния точности при формировании корпуса корабля на увеличению области неравновесного состояния характеристик гидрофизических полей водной среды после прохода корабля;
- Разработка метода прямого компьютерного моделирования сопротивления и вязкостного оптекания корпуса судна при испытаниях в опытовом бассейне;
- Исследование структуры и динамики изменения во времени гидродинамических и физико-химических характеристик следа за самодвижущейся с постоянной скоростью моделью в опытовом бассейне.

Судостроение объективно относится к отраслям промышленности, обладающим большим научно-техническим и производственно-технологическим потенциалом, способным влиять на развитие технологий в смежных отраслях промышленности. Именно поэтому ведущие мировые страны уделяют особое внимание развитию технологий в обеспечение активной и самостоятельной морской деятельности, оказывая значительную поддержку национальным научно-исследовательским организациям и судостроительным компаниям.

Исторически научно-технический потенциал в судостроении сформировывался в Санкт-Петербурге. В нём выполняется более 80 % НИОКР в интересах судостроительной промышленности. В научных и проектных организациях Санкт-Петербурга работает более 30 тыс. человек. 19 ведущих научных и проектных предприятий судостроительной промышленности имеют достаточно развитую научно-экспериментальную базу, включая ее важнейшую часть, уникальную стендовую испытательную базу. Вместе с тем состояние лабораторно-испытательной базы не всегда соответствует современным требованиям, а сопоставление зарубежного и отечественного уровней развития критических технологий в области морских систем выявило, как отмечено выше, факты заметного отставания от ряда зарубежных стран.

Не может не вызывать тревоги снижение качественной составляющей кадрового потенциала на многих научно-исследовательских предприятиях города. Не востребованность и низкая заработная плата в предыдущие годы резко понижают мотивацию к научно-исследовательской деятельности и могут привести к невосполнимой потере кадрового потенциала. И это несмотря на то, что в ведущих научных организациях существуют приемлемые условия для научно-исследовательской деятельности и

подготовки специалистов высшей квалификации – кандидатов и докторов наук – и работают специализированные советы по присуждению ученых степеней.

Начиная с 1992 г. проведение поисковых исследований в интересах развития военно-морской техники практически полностью прекратилось. Это в полной мере относится и к таким основополагающим областям развития морской техники, как гидроаэродинамика, прочность и конструкция корпуса, энергетика и электроэнергетика, физические поля, радиоэлектронное вооружение морских объектов и ряда других. В результате, в последние 10-15 лет научных задел, необходимый для проведения вариантных проработок любой перспективной техники, практически не создавался. Отдельные научно-технические достижения должным образом не реализовывались. Сопоставление зарубежного и отечественного уровня развития критических технологий в области морских систем уже выявило факты отставания от ряда зарубежных стран на 15-25 лет.

Государство в прошедший период с 1992 по 2015 годы оказывало посильную помощь отечественной науке по целевым программам, среди которых можно выделить «Возрождение Российского Флота» и «Развитие Речной и Морской Гражданской техники» (РМГТ). При формировании программ учитывалось, что рынок продукции гражданского судостроения формируется в основном интересами государства, судовладельцев и газонефтедобывающих компаний, разрабатывающих технику для добычи углеводородного сырья на российском шельфе и его транспортировки потребителям. По прогнозным экспертным оценкам на период до 2030 года только для транспортировки углеводородов с континентального шельфа России существует потребность примерно в 90 судов арктического плавания водоизмещением 55-60 тыс. тонн. Для их обслуживания на трассах замерзающих морей Северного ледовитого океана потребуется построить 10-12 новых ледоколов. Все отмеченные суда могут быть построены на существующих заводах. В области гражданского судостроения государство формирует заказ только на строительство судов для научно-исследовательской деятельности и атомного ледокольного флота.

Российское гражданское судостроение в силу ряда объективных и субъективных причин не способно конкурировать с зарубежными судостроительными компаниями. Предприятия отрасли не способны самостоятельно проводить требуемую модернизацию производств, а проектные организации предложить рынку перспективные разработки. В связи с этим планируется значительную долю необходимых работ проводить при непосредственном участии федерального бюджета, используя отработанный механизм решения проблемы – разработку федеральной целевой программы. Такая программа

«Развитие судостроительной промышленности на 2016-2030 годы» в настоящее время разрабатывается. В ней, в частности, предусмотрено:

- формирование опережающего НТЗ по основным направлениям развития военно-морской техники и систем морского оружия;
- формирование опережающего НТЗ в обеспечение развития морской и речной техники гражданского назначения;
- комплекс мероприятий по техническому перевооружению уникальных исследовательских, испытательных комплексов в Крыловском центре и центрах компетенции, а также по созданию, реконструкции и комплексному развитию полигонной базы судостроительной промышленности.

Решение поставленных в программе задач позволит сократить разрыв научно-технологического развития между Россией и ведущими зарубежными странами.

3.4.3. Научно-технический потенциал Петербурга фундаментальных и прикладных исследований в области энергетики, материаловедения, механики, прочности. Научные школы.

3.4.3.1 Научно-технический потенциал Санкт-Петербурга фундаментальных и прикладных исследований в области энергетики, материаловедения, механики и прочности

Научно-технический потенциал Санкт-Петербурга представлен совокупностью промышленных предприятий, научных центров и образовательных учреждений, которые являются признанными лидерами в фундаментальных исследованиях в области энергетики, металлургии, механики, прочности и создании разнообразных транспортных средств (судов, самолетов, космических аппаратов).

Предприятий, связанных с производством транспортных средств – 13.

Предприятий, выпускающих комплектующее оборудование (машины и механизмы) – 34.

Перечень предприятий предназначенных для производства машин и оборудования

Комплексные научно-исследовательские предприятия (ГНЦ, ФГУПы, ЦНИИ) – 8.

Над фундаментальными проблемами широкого спектра успешно работают научно-исследовательские организации в системе РАН (7) и ряд специализированных отраслевых организаций Минэкономразвития (10).

Количество образовательных учреждений Санкт-Петербурга, имеющих признанные успехи в фундаментальных исследованиях, подтвержденных практикой – 10.

3.4.3.2 Основные научные школы Санкт-Петербурга в области энергетики, механики, материаловедения и прочности

В соответствии с распоряжением Комитета по науке и высшей школе от 19.11.2012 № 80 «Об утверждении Положения о реестре ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга» и решением Президиума Научно-технического совета при Правительстве Санкт-Петербурга (протокол № 2/13 от 09.12.2013) в целях сохранения и эффективного использования научно-технического и образовательного потенциала Санкт-Петербурга, распоряжением Комитета от 13.12.2013 № 99 утвержден список научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга, включенных в реестр ведущих научных и научно-педагогических школ. Данный реестр включает 411 ведущих научных школ Санкт-Петербурга. Из них –34, таблица 3.4.2, имеют непосредственное отношение к созданию кораблей и судов.

Таблица 3.4.2 – Научные школы в области энергетики, механики, материаловедения, прочности на предприятиях Санкт-Петербурга

| № п/п | Руководитель научной школы | Научная область деятельности | Вуз (научная организация) |
|-------|------------------------------|--|---|
| 1 | Алексеев Генрих Васильевич | Климат полярных областей | Арктический и антарктический научно-исследовательский институт |
| 2 | Алексеев Михаил Иванович | Обеспечение экологической безопасности водных объектов при транспортировке, очистке и утилизации сточных вод | Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет |
| 3 | Баранов Александр Потапович | Судовые автоматизированные электроэнергетические системы и их эксплуатация | Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова |
| 4 | Безюков Олег Константинович | Судовые двигатели внутреннего сгорания и теплоэнергетическое оборудование | Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова |
| 5 | Беллендир Евгений Николаевич | Гидротехника | Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева |
| 6 | Блехман Илья Израилевич | Теория вибрационных процессов и машин | Институт проблем машиноведения РАН |
| 7 | Будрина Елена Викторовна | Экономика и управление транспортными системами | Санкт-Петербургский государственный экономический университет |
| 8 | Василенок Виктор Леонидович | Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование охраны окружающей среды и экологии человека | Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики |

| № п/п | Руководитель научной школы | Научная область деятельности | Вуз (научная организация) |
|-------|--------------------------------|--|---|
| 9 | Васильев Владимир Николаевич | Суперкомпьютерное моделирование сложных систем | Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики |
| 10 | Вахрушев Сергей Борисович | Физика нанокompозитных материалов | Санкт-Петербургский государственный политехнический университет |
| 11 | Геппенер Владимир Владимирович | Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ | Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) |
| 12 | Горынин Игорь Васильевич | Создание перспективных высокопрочных свариваемых сталей, многофункциональных полимерных композиционных материалов и средств защиты от коррозии для кораблестроения и глубоководной техники | Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» |
| 13 | Груздев Николай Михайлович | Вероятностно-статистические методы оценки точности и навигационной безопасности плавания | Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» |
| 14 | Гудкович Залман Менделеевич | Морские льды | Арктический и антарктический научно-исследовательский институт |
| 15 | Гусев Леонид Борисович | Надежность и живучесть корабельных ядерных энергоустановок | Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» |
| 16 | Дымкин Григорий Яковлевич | Системы неразрушающего контроля ответственных объектов транспорта и промышленности | Петербургский государственный университет путей сообщения |
| 17 | Илюхин Виктор Николаевич | Теория и практика выполнения аварийно-спасательных, водолазных и глубоководных работ | Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» |
| 18 | Индейкин Андрей Викторович | Динамика транспортных сооружений и подвижного состава. Сейсмостойкость и безопасность сооружений | Петербургский государственный университет путей сообщения |
| 19 | Катанович Андрей Андреевич | Построение подводно-кабельной и внутрикорабельных систем и комплексов связи ВМФ | Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» |
| 20 | Коваленко Виктор Васильевич | Моделирование и прогнозирование гидрологических процессов | Российский государственный гидрометеорологический университет |

| № п/п | Руководитель научной школы | Научная область деятельности | Вуз (научная организация) |
|-------|----------------------------------|---|---|
| 21 | Малышевский Виктор Андреевич | Создание и внедрение низкоуглеродистых низколегированных сталей для морской техники и магистральных трубопроводов для освоения арктического шельфа | Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» |
| 22 | Мусалимов Виктор Михайлович | Проблемы надежности и точности машин и приборов | Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики |
| 23 | Орыщенко Алексей Сергеевич | Создание перспективных конструкционных материалов для оборудования атомной энергетики, работающего в экстремальных условиях | Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» |
| 24 | Петров Сергей Афанасьевич | Безопасность эксплуатации корабельных ядерных энергетических установок | Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» |
| 25 | Половинкин Валерий Николаевич | Обеспечение надежности, живучести и безопасности боевых и технических систем | Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» |
| 26 | Родионов Александр Александрович | Строительная механика корабля, прикладная механика, вычислительная механика | Санкт-Петербургский государственный морской технический университет |
| 27 | Розенвассер Ефим Натанович | Динамические процессы и процессы управления и их приложение к проблемам военного кораблестроения | Санкт-Петербургский государственный морской технический университет |
| 28 | Тезиков Александр Львович | Гидрографическое обеспечение Северного морского пути | Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова |
| 29 | Фаддеев Людвиг Дмитриевич | Математическая физика | Санкт-Петербургский государственный университет |
| 30 | Федоров Михаил Иванович | Термоэлектрическое преобразование энергии | Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН |
| 31 | Феофанов Юрий Александрович | Разработка комплексных технологий очистки природных, оборотных и сточных вод от специфических антропогенных и техногенных загрязнений и очистка воды в условиях чрезвычайных ситуаций | Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет |
| 32 | Филатов Юрий Владимирович | Высокоточные измерительные и навигационные системы | Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) |
| 33 | Фукс Виктор Робертович | Спутниковая океанология | Санкт-Петербургский государственный университет |

| № п/п | Руководитель научной школы | Научная область деятельности | Вуз (научная организация) |
|-------|------------------------------------|--|--|
| 34 | Цобкалло Екатерина Сергеевна | Материаловедение полимерных, композиционных и нанокomпозиционных волокнистых материалов со специальными свойствами | Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна |

Выводы

Развитие фундаментальных и фундаментально-поисковых исследований является функцией запросов практической действительности в интересах экономического развития, обороны и безопасности государства. Поэтому приоритетные направления фундаментально-поисковых и прикладных исследований в Российской Федерации формируются и утверждаются рядом нормативных документов, среди которых в первую очередь следует отметить Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2012 г. № 2538-р.

Необходимость обеспечения независимости и безопасности государства приводит к тому, что ведущие мировые державы – Россия, США, Япония, Великобритания, ФРГ, Франция, Китай вынуждены в значительной степени самостоятельно вести научные поиски практически во всех секторах мировой науки. Другие страны концентрируют свое внимание на отдельных направлениях фундаментальной науки, связанными со своими приоритетами, экономическими возможностями и природно-ресурсным потенциалом.

В настоящее время в мире без учета России насчитывается более 5 тыс. «мозговых центров», работающих в области фундаментальных, фундаментально-поисковых и прикладных исследований. В общем обзоре тенденций развития мировых фундаментальных исследований во всех отмеченных возможных направлениях практически невозможно кроме как на основании экспертных оценок известных достижений в производстве наукоемкой продукции, впитавшей в себя интегрально многочисленные важнейшие результаты комплексных междисциплинарных исследований, например, в судостроении или авиастроении. К сожалению, во многих важнейших для развития научно-технического прогресса областях в России сложилась не лучшая ситуация, например, машиностроении, являющимся локомотивом динамично развивающихся направлений. Похожее состояние характерно и для направлений механики, газо-аэро и гидродинамики, имеющих большое значение для авиации и кораблестроения, рисунок 3.12.

Судостроение объективно относится к отраслям промышленности, обладающим большим научно-техническим и производственно-технологическим потенциалом, способным влиять на развитие технологий в смежных отраслях промышленности. Именно

поэтому ведущие мировые страны уделяют особое внимание развитию технологий в обеспечение активной и самостоятельной морской деятельности, оказывая значительную поддержку национальным научно-исследовательским организациям и судостроительным компаниям.

Исторически научно-технический потенциал в судостроении сформировался в Санкт-Петербурге. В нём выполняется более 80% НИОКР в интересах судостроительной промышленности. В научных и проектных организациях Санкт-Петербурга работает более 30 тыс. человек. 19 ведущих научных и проектных предприятий судостроительной промышленности имеют достаточно развитую научно-экспериментальную базу, включая ее важнейшую часть, уникальную стендовую испытательную базу. Вместе с тем состояние лабораторно-испытательной базы не всегда соответствует современным требованиям, а сопоставление зарубежного и отечественного уровней развития критических технологий в области морских систем выявило, как отмечено выше, факты заметного отставания от ряда зарубежных стран.

Российское гражданское судостроение в силу ряда объективных и субъективных причин не способно конкурировать с зарубежными судостроительными компаниями. Предприятия отрасли не способны самостоятельно проводить требуемую модернизацию производств, а проектные организации предложить рынку перспективные разработки. В связи с этим планируется значительную долю необходимых работ проводить при непосредственном участии федерального бюджета, используя отработанный механизм решения проблемы – разработку федеральной целевой программы. Такая программа «Развитие судостроительной промышленности на 2016-2030 годы» в настоящее время разрабатывается. В ней, в частности, предусмотрено:

- формирование опережающего НТЗ по основным направлениям развития военно-морской техники и систем морского оружия;
- формирование опережающего НТЗ в обеспечение развития морской и речной техники гражданского назначения;
- комплекс мероприятий по техническому перевооружению уникальных исследовательских, испытательных комплексов в Крыловском центре и центрах компетенции, а также по созданию, реконструкции и комплексному развитию полигонной базы судостроительной промышленности.

Решение поставленных в программе задач позволит сократить разрыв научно-технологического развития между Россией и ведущими зарубежными странами.

Успешная реализация задач по отмеченным выше программам должна быть подкреплена результатами исследований по Государственной программе «Развития науки и технологии» на 2013-2010 годы по направлениям: энергетика, механика, машиностроение, биомеханика, процессы управления, науки о материалах.

При решении отмеченных задач не следует забывать, что вновь создаваемая техника в значительных объемах будет эксплуатироваться в условиях Арктического севера и приравненных к нему условий на дальнем востоке, поэтому требуются такие уверенные данные о природно-погодных условиях в местах ее эксплуатации как при добыче углеводородного сырья, так и при транспортировке его к потенциальным потребителям.

Научно-технический потенциал Санкт-Петербурга представлен совокупностью промышленных предприятий, научных центров и образовательных учреждений, которые являются признанными лидерами в фундаментальных исследований в области энергетике, металловедения, механики, прочности и создании разнообразных транспортных средств (судов, самолетов, космических аппаратов).

Предприятий, связанных с производством транспортных средств – 13.

Предприятий, выпускающих комплектующее оборудование (машины и механизмы) – 34.

Комплексные научно-исследовательские предприятия (ГНЦ, ФГУПы, ЦНИИ) – 8.

Над фундаментальными проблемами широкого спектра успешно работают научно-исследовательские организации в системе РАН (7) и ряд специализированных отраслевых организаций Минэкономразвития (10).

Количество образовательных учреждений Санкт-Петербурга, имеющих признанные успехи в фундаментальных исследованиях, подтверждённых практикой – 10.

Основные научные школы Санкт-Петербурга в области энергетике, механики, материаловедения, прочности в соответствии с реестром ведущих и научно-педагогических школ включает 411 школ, 34 из которых имеет непосредственное отношение к созданию кораблей и судов.

Таким образом, по результатам проведенных аналитических исследований, с учетом мировых тенденций развития науки и, опираясь на оценку научно-технического потенциала Петербурга, *сформирован Перечень наиболее перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований в области материаловедения, механики, прочности на среднесрочный период по четырем актуальным междисциплинарным направлениям.*

Конструкционная прочность и механика разрушения:

- Междисциплинарные исследования в области физики прочности и механики разрушения конструкционных материалов, формулировка на их основе критериев прочности и работоспособности элементов атомных реакторов различного типа, работающих в экстремальных условиях воздействия тепловых и нейтронных полей, жесткого электромагнитного излучения и агрессивных сред.
- Разработка инновационных принципов создания конструкционных материалов с заданными свойствами с учетом механизмов их повреждения и деградации при сверхвысоких дозах облучения для внутрикорпусных устройств и оболочек твэлов перспективных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с водяным, жидкометаллическим и газовым теплоносителями.
- Разработка методов расчета прочности материалов и ресурса оборудования арктических шельфовых и глубоководных конструкций для освоения углеводородных месторождений шельфа России и оборудования для производства и транспортировки сжиженных газов.

Экстремальные состояния материалов и конструкций.

Структурные превращения в сплошных средах:

- Исследование закономерностей разрушения, деформирования, а также структурно-фазовых превращений в природных и конструкционных материалах при экстремальных, скоростных, термомеханических и физико-химических воздействиях техногенного и природного характера.
- Разработка новых критериев безопасности и принципов тестирования механических и физических свойств существующих и новых конструкционных материалов при экстремальных воздействиях; создание фундаментальных основ для развития современной нормативной базы по прочности и износостойкости в различных отраслях индустрии.
- Создание фундаментальных основ для оптимизации технологических процессов и определения оптимальных режимов целенаправленного разрушения, фрагментации, измельчения природных и конструкционных материалов; разработка нетрадиционных способов обработки материалов, таких как импульсное, ультразвуковое и вибрационное резание, создание виброударных систем.
- Экспериментальные и теоретические исследования динамических процессов в сплошных средах под воздействием нагрузок немеханической природы: мощных электронных пучков, импульсных магнитных полей высокой интенсивности,

- электрического взрыва, лазерных импульсов; изучение свойств диэлектрических сред при интенсивных электрофизических воздействиях с высокими плотностями энергии.
- Прогнозирование предельно допустимых нагрузок на конструкционные материалы в транспортной сфере, в частности, применяемые при строительстве магистралей для высокоскоростного транспорта, например, материалы железнодорожной насыпи (эстакады) для высокоскоростных поездов, асфальтобетонное покрытие автомагистралей; исследование закономерностей и механизмов скоростного изнашивания поверхностей в трибологических системах.
 - Создание новых конструкционных материалов с повышенными физико-механическими характеристиками за счет управления их гетерогенной структурой на нано - мезо- и макро- уровнях. Исследование взаимодействия различных масштабных уровней и их влияния на физико-механические свойства новых материалов при воздействиях как нормативного, так и экстремального характера.
 - Исследование процессов структурных превращений и фазовых переходов в жидких средах при интенсивном импульсном и вибрационном воздействии; изучение свойств особых, в том числе метастабильных и сверхкритических состояний различных жидкостей, а также разработка технологических методов реализации и управления данными состояниями.
 - Разработка методов исследования реакционной опасности химических процессов. Создание методик управления объектом, позволяющих избежать теплового взрыва, во время технологического процесса, хранения или транспортировки и т.д.; обеспечение термической безопасности реакционноопасных объектов путём математического моделирования, прогнозирования и оценки вероятности развития теплового взрыва.
 - Разработка методик управления наноструктурой и свойствами функциональных и конструкционных материалов при различных статических и динамических воздействиях. Создание люминесцентных материалов, полученных по новым технологиям, которые могут использоваться в бескорпусной электронике.
 - 2.10.Создание современного, высокоэффективного и экологически безопасного производства по получению биодизельного топлива. Разработки и внедрение новых технологий для интенсификации химико-технологических процессов и совершенствования мер по ресурсо- и энергосбережению при производстве биотоплива.

Конструкционные наноматериалы:

- Изучение механизма физико-химического взаимодействия в системе «металл–неметалл-газовая фаза» в процессе получения наноструктурированных композиционных порошков методами управляемого механосинтеза, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и синтеза из аморфного состояния.
- Решение фундаментальных проблем физики и химии механоактивированных наноструктурированных и нанокпозиционных материалов, полученных при механоактивации и интенсивной пластической деформации (механоактивированных наноразмерных молекулярных кристаллов).
- Создание математических и физических моделей и разработка новых композиционных конструкционных материалов и материалов со специальными физическими свойствами на основе систем «металл-металл, металл-керамика, керамика-керамика» в наноструктурированном состоянии.
- Разработка физико-химических основ и высокоэффективных методов получения новых конструкционных металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов, включая наноматериалы с рекордно высокими механическими свойствами (удельная прочность, износостойкость, твердость, пластичность), высокой жаростойкостью и жаропрочностью, высокой коррозионной стойкостью для машиностроения и авиации, превосходящие существующие аналоги.
- Установление закономерностей формирования структуры, развитие теории и прикладных аспектов упрочнения и формообразования коррозионно-стойких материалов и покрытий, сверхпрочных сплавов, термостойких композитов.
- Развитие физико-химических основ технологии порошковой металлургии для производства нанопорошков, предназначенных для применения в качестве катализаторов, модификаторов и для изготовления наноструктурированных сплавов, псевдосплавов, композитов, покрытий.
- Разработка научных основ создания функциональных материалов с особыми физическими и химическими свойствами, в том числе углеродных материалов, высокотемпературных сверхпроводников, оптически-активных, аморфных и аморфно-кристаллических «интеллектуальных» материалов и метаматериалов, сплавов с памятью формы для пленочных, градиентных, мембранных наноматериалов.

- Изучение механизма синтеза наиболее перспективных для аккумуляирования водорода интерметаллических соединений, разработка водород - аккумуляирующих процессов в адсорбционных средах, разработка многокомпонентных сплавов, металлических и металл-углеродных композитов.
- Разработка физико-химических основ создания новых металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов с высокой стойкостью к интенсивным импульсным механическим и термическим воздействиям, с повышенными триботехническими характеристиками, стойких к радиационному воздействию, с оптической прозрачностью и прочностью при высоких температурах, для высокоэнергетических источников питания, приборов пространственной ориентации, сенсорных систем и кодирующих меток, снижения заметности в радиолокационном, оптическом и акустическом диапазонах.
- Разработка с использованием физического моделирования научно-технологических подходов создания метаматериалов на базе наноструктурированных литых микропроводов.

Машиностроение и механика:

- Разработка основ технологии прогнозирования изменчивости гидрологического и ледового режима Арктики в важнейших районах осуществления морехозяйственной деятельности на основе комплексного анализа динамики климата в Арктическом и Североатлантическом регионах и разработка технологических систем оперативного экологического мониторинга трансграничного загрязнения особо охраняемых экосистем Арктики на основе дистанционного зондирования, автономных наземных и транспортируемых модульных измерительных комплексов.
- Комплексная безопасность промышленности и энергетики.
- Разработка теории и предложений по техническому исполнению универсального эффективного сверхпроводникового электрического оборудования с широким использованием наноматериалов.
- Прогнозирование развития безопасной стационарной и транспортной атомной энергетики ограниченной мощности с учетом критериев стратегических рисков.
- Разработка технологий изготовления и исследование характеристик принципиально новых высокоэффективных, малозумных двигателей на базе новых инновационных проектных подходов и перспективных композиционных и наноконпозиционных материалов.

- Разработка инновационного подхода принципиального снижения гидродинамического сопротивления при движении сложных объектов на базе широкого внедрения саморегулирующихся систем подачи структурированных, экологически безопасных полимеров (например, полиокса) в пограничный слой, а также путем создания на корпусе специального покрытия из нановолокон, обладающих волокнистой структурой определенной протяженности и повышенной прочности.
- Исследование физических закономерностей и характеристик полей следности движущихся в водной среде объектов с постоянной скоростью.

Полученные при выполнении НИР результаты следует рассматривать как аналитический задел, с использованием которого в дальнейшем могут вестись работы по обоснованию и разработке федерально-региональной научно-технической программы Петербурга, направленной на развитие научных исследований мирового уровня, в том числе и для обеспечения развития высокотехнологичных отраслей экономики региона.

Концентрация ресурсов на реализации предложенных перспективных направлений фундаментальных исследований коллективами и учреждениями Петербурга, занимающими лидирующее положение в своей области, позволит увеличить вклад фундаментальной науки в решение социально-экономических проблем региона, в повышение эффективности и конкурентоспособности наукоемких отраслей, национальной безопасности, снизить риски техногенных катастроф.

Список библиографических источников

1. Alekseenko N.N., Amaev A.D., Gorynin I.V., Nikolaev V.A. Radiation damage of nuclear power plant pressure vessel steels. La Grange Park, Illinois USA, 1997. 282 с.
2. Sorokin A.A., Margolin B.Z., Kursevich I.P., et al. Effect of neutron irradiation on tensile properties of materials for pressure vessel internals of WWER type reactors. Journal of Nuclear Materials, 2014, v. 444, Issue 1-3, 373-384.
3. Karzov G. and Margolin B. Fracture Mechanisms and Structural Integrity Assessment of Equipments for NPP with Different Types of Reactors. Proc. of 19th European Conf. on Fracture. 2012, No. 445.
4. Chopra O.K., Rao A.S. A review of irradiation effects on LWR core internal material – Neutron embrittlement. Journal of Nuclear Materials, 2011, v. 412, 195-208.
5. Margolin BZ, Shvetsova VA, Gulenko AG. Radiation embrittlement modeling in multi-scale approach to brittle fracture of RPV steels. Int. Journal of Fracture, 2013, 179, 87-108.

6. Margolin BZ, Shvetsova VA, Gulenko AG, Kostylev VI Prometey local approach to brittle fracture: development and application. Eng. Fracture Mechanics, 2008, v.75, 3483-3498.
7. Karzov G., Margolin B., Rivkin E. Analysis of structural integrity of RPV on the basis of brittle fracture criterion International Journal of Pressure vessels and Piping, 2004, v. 81, 651-656.
8. Горынин И.В., Карзов Г.П., Филимонов Г.Н. Совершенствование корпусных материалов для водо-водяных реакторов нового поколения повышенных безопасности и ресурса. Радиационное материаловедение и конструкционная прочность реакторных материалов. Юбилейный сборник, посвященный 100-летию со дня рождения академиков И.В. Курчатова и А.Н. Александрова. СПб.: ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», 2002 г., с.9-19.
9. Цуканов В.В., Карзов Г.П., Филимонов Г.Н. и др. Требования к корпусным материалам АЭУ нового поколения и пути их создания. Вопросы атомной науки и техники. 2004, № 1(62), с. 104-115.
10. Карзов Г.П., Теплухина И.В. Материаловедческие аспекты новых принципов повышения эксплуатационных характеристик теплоустойчивых сталей для реакторов АЭУ и их практическая реализация Вопросы атомной науки и техники, 2011, №2(72), с. 46-53.
11. Карзов Г.П., Орыщенко А.С. Теплухина И.В. Стали для корпусов водо-водяных реакторов нового поколения с повышенной радиационной стойкостью. Вопросы материаловедения, 2011, №1(65), с. 28-40.
12. Курсевич И.П., Карзов Г.П., Марголин Б.З., Сорокин А.А., Теплухина И.В. Принципы легирования новой радиационно-стойкой аустенитной стали для ВКУ ВВЭР-1200, обеспечивающей их безопасную эксплуатацию не менее 60 лет. Вопросы материаловедения, 2012, №3(71), с. 146-160.
13. Orringer O., Morris J.M., Steele R.K. } Applied research on rail fatigue and fracture in the United States // Theor. and Appl. Fract. Mech., 1984, vol.1. P.23-49.
14. Урванцов Л.А. Эрозия и защита металлов. М.: Машиностроение, 1966. 235с.
15. Фомин В.В. Гидроэрозия металлов. М.: Машиностроение, 1977. 287с.
16. Брантон Дж.Х., Рочестер М.К. Эрозия поверхности твердого тела при ударе жидких капель //Эрозия /Под ред. К.Прис. М.: Мир, 1982. С. 201-268.
17. Спринжер Дж.С. Эрозия при воздействии капель жидкости. М.: Машиностроение, 1981. 200с.
18. Эдлер У.Ф. Механика ударного воздействия жидкости /Эрозия // Под ред. К.Прис. М.: Мир, 1982. С.140-200.

19. Падуков В.А., Антоненко В.А., Подозерский Д.С. Разрушение горных пород при ударе и взрыве. Л.: Наука, 1971. 160с.
20. Майборода В.П., Кравчук А.С., Холин Н.М. Скоростное деформирование материалов. М.: Машиностроение, 1988. 284с.
21. Rock Dynamics and Applications – State of Art // Proceedings of the first international conference on rock dynamics and applications (RocDyn-1), Lausanne, Switzerland, 2013.
22. Никифоровский В.С., Шемякин Е.И. Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск: Наука, 1979. 271с.
23. Bratov V., Morozov N., Petrov Yu.. Dynamic Strength of Continuum. 2009, St.-Petersburg University Press.
24. Морозов Н.Ф., Петров Ю.В. Проблемы динамики разрушения твердых тел. С.-Петербург: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1997. 132с.
25. Rhinehart J.S., Pearson J. Behavior of Metals under Impulsive Loads. Cleveland: American Society of Metals, 1956. 231p.
26. Zukas J.A. High Velocity Impact Dynamics. New York: John Wiley and Sons Inc., 1990. 312p.
27. Stoessel, F., Thermal Safety of Chemical Processes, Risk Assessment and Process Design,
28. Назин Е.Р., Зачиняев Г.М. Пожаровзрывобезопасность технологических процессов радио-химических производств. –М.: НТЦ ЯРБ, 2009. –195 с.
29. U.S. Chemical Safety and Hazard investigation Board (CSB). Hazard investigation. Improving reactive hazard management, Report № 2001-01-H, CSB , Washington, 2002, 145 p.
30. Takashi Kotoyori, Critical Temperatures for the Thermal Explosion of Chemicals, Industrial Safety Series, 7, Elsevier, 2005, 375 p.
31. Stoessel F., Thermal Safety of Chemical Processes, Risk Assessment and Process Design, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008. 374 p.
32. Demirbas Ayhan. Biofuels Securing the Planet’s Future Energy Needs. London, Springer-Verlag London Ltd, 2009. 336p.
33. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Германия: Агентство по возобновляемым ресурсам (FNR) 2010. 118с.
34. Элверс Б.. Топлива. Производство, применение, свойства. Справочник. СПб. 2012. - 416 с.
35. Kobayashi T., Shockey D.A. Fracture surface topography analysis (FRASTA) Development, accomplishments, and future applications // Engineering Fracture Mechanics. V. 77, N 12, 2010. P. 2370–2384.

36. Kalthoff J. F., Shockey D.A. Instability of cracks under impulse loads // J. Appl. Phys. 48. P.986. (1977).
37. Curran D. R., Shockey D. A., Seaman L. Dynamic fracture criteria for a polycarbonate // J. Appl. Phys. 44. P. 4025 (1973).
38. Shockey D. A., Curran D. R., Carli P. S. De. Damage in steel plates from hypervelocity impact. I. Physical changes and effects of projectile material // J. Appl. Phys. 46. P. 3766 (1975).
39. Computational models for ductile and brittle fracture // J. Appl. Phys. 47. P.4814 (1976)
40. Erlich D. C., Shockey D. A., Seaman L. Symmetric rod impact technique for dynamic yield determination // AIP Conf. Proc. 78. P.402 (1982)
41. Curran D.R., Seaman L., Shockey D.A. Dynamic failure in solids // Physics Today Online 30. N 1. P.46 (1977)
42. Dynamic Fracture Mechanics for the 1990's: Presented at the 1989 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, JSME Co-Sponsorship, Honolulu, Hawaii, July 23-28, 1989 (Pvp, Vol 160) (Book) By (author) H. Homma, By (author) D. A. Shockey, Edited by G. Yagawa. American Society of Mechanical Engineers. 1989. 166p.
43. K. Ravi-Chandar, Dynamics of brittle fracture. In: Advances in Fracture Research, (eds. B.L. Karihaloo et al), (1997). P.2707-2719.
44. K. Ravi-Chandar. Experimental challenges in the investigation of dynamic fracture of brittle materials, physics of fracture. Eds. E. Bouchaud, D. Jeulin, C. Piroul and S. Roux. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, (2001). P.323-342.
45. Kalthoff J. F., Winkler S. Fracture Behavior under Impact, Part 1. Defense Technical Information Center, 1986. - 85 p.
46. Fineberg J., Gross S.P., Marder M., Swinney H. L. An Instability in Dynamic Fracture // Phys. Rev. Lett. 67, P.457 (1991).
47. Fineberg J., Gross S. P., Marder M., Swinney H. L. Instability in the Propagation of Fast Cracks // Phys. Rev. B45. P.5146 (1992-II).
48. Marder M., Fineberg J. How Things Break // Physics Today, 49, P.24 (1996).
49. Фонд перспективных исследований в системе оборонных инноваций. Доклад общественного совета председателя военно-промышленной комиссии при Правительстве России, Москва, 2013 г.
50. В. Корчак, Е. Тужиков, Л. Бочаров. Фундаментальные исследования МО США: разнообразие, учет мнений заказчика, адаптивность// Ж. Военно-промышленный курьер, № 27, 17.06.13 г.

51. В.Корчак, Е. Тужиков, Л.Бочаров. Сколько стоит военная наука.//Ж. Военно-промышленный курьер, № 27 (495) 17.07.13.
52. В.Иванов. ДАРПА нацелилось на прорывы// Независимое газетное обозрение,17.05.13.
53. T. Heinze. Nanoscience and Nanotechnology in Europe: Analysis of Publications and Patent Applications including Comparisons with the United States// Nanotechnology Law & Business **1**(4), 427-445 (2009).
54. В. Шпаковский. 10 проектов DARPA улучшают орудия убийства,
[http:// www.dailynewslight.ru](http://www.dailynewslight.ru)
55. Klabukov I., Alekhin M., Nekhina A.. Исследовательская программа Darpa на 2015 год. , <http://www.slideshare.net>
56. Defence News Roundup: The Air Force Goes “Commando” and DARPA Loves Drones.
[http:// www.defense.gov](http://www.defense.gov)
57. www.aviaport.ru. А. Юргенсон. На пути к гиперзвуку.
58. С. Юферев. Перспективная система ПВО MEADS// Военное обозрение, 07.12.2011.
59. В.Егоркин. Военная промышленность Германии//Зарубежное военное обозрение, 31.10.2012.
60. М.Бойцов. Великий китайский туннель.//Газета Армии, 08.11.2013.
61. The Jamestown Foundation//China Brief № 4 (16), 2010.
62. А.Б.Богуславский. Военно-промышленный комплекс Государства Израиль, Институт ближнего востока, 11.10.2004
63. www.drdo.org
64. Новосибирская бронекерамика: прочность, признанная за рубежом НИИ Стали- Arms-expo 16.07.2013
65. И.В. Горынин. Размышления с оптимизмом
66. И.Беспалов, В.Григорян, А. Карпов. Российская керамическая броня – состояние и потребности// Оружие России, 07.07.2012
67. «Жидкая броня» защитит лучше кевлара// Армия России, 24.01.2011
68. Бутягин П.Ю. Успехи химии. 1994. Т. 63. С. 1031 – 1043.
69. Болдырев В.В. Успехи химии. 2006. Т. 75. № 3. С. 203-216.
70. Panich G., Winter R. Biochem, 2000, 39, 1862-1869.
71. Deane C.M., Allen F.H., Taybor R., Blundel T. Prof. Eng., 1999, 12, 1025.
72. Heinicke G., Harenz H., Sigrist K. Z. anorg Chem., 1967, 352, 168-189.
73. Boldyrev V.V. In «Reactivity of Solids. Past, Present and Future». Oxford, Blackwell Sci. Publ. Ltd., 1996, 267-285.

74. Елсуков Е.П., Дорофеев Г.А. Химия в интересах устойчив. развития, 2002, 10, 59-68.
75. Österle W., Orts-Gil G., Gross T., Deutsch C., Hinrichs R., Vasconcellos M.A.Z., Zoz H., Yigit D., Sun X. Materials Characterization, 2013, V. 86, P. 28-38.
76. Krupp U., Mey K., Giertler A., Kaupp G., Benz H.U., Zoz H. Reviews on Advanced Materials Science, 2012, V. 31, Iss. 1, P. 19-24.
77. López-Báez I., Martínez-Franco E., Zoz H., Trápaga-Martínez L.G. Revista Mexicana de Fisica, 2011, V. 57, Iss. 2, P. 176-183.
78. Qareaghaj O.H., Mashkouri S., Naimi-Jamal M.R., Kaupp G. RSC Advances, 2014, V. 4, Iss. 89, P. 48191-48201.
79. Kaupp G. CrystEngComm, 2011, V. 13, Iss. 9, P. 3108-3121.
80. Kaupp G. CrystEngComm, 2009, V. 11, Iss. 3, Pages 388-403.
81. Yuan Y.B., Wang Z.W. Transaction of Nonferrous Metals Society of China (English Edition), 2014 V.24, Iss.7, P,2251-2257.
82. Hao X.N, Zhan H.P. Transaction of Nonferrous Metals Society of China (English Edition), 2014 V.24, Iss.7, P,2380-2386.
83. Zheng R., Hao X. Journal of Alloys and Compounds, 2013, V.576, P.291-298.
84. Yoshida R., Tsuda T., Fujiwara H., Miyamoto H., Ameyama K. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2014, V. 63, Iss. 1, Article number 012031.
85. Tsuzuki Y., Fujiwara H., Miyamoto H., Ameyama K. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2014, V. 63, Iss. 1, Article number 012029.
86. Oda E., Fujiwara H., Ameyama K. Materials Transactions, 2008, V. 49, Iss. 1, P. 54-57.
87. Oda E., Ameyama K., Yamaguchi S. Materials Science Forum, 2006, V. 503-504, P. 573-578.
88. Al-Aqeeli N., Suryanarayana C., Hussein M.A., Journal of Applied Physics, 2013, V. 114, Iss. 15, Article number 153512.
89. Suryanarayana C., Behn R., Klassen T., Bormann R. Materials Science and Engineering A, 2013, V. 579, P. 18-25.
90. Al-Aqeeli N., Abdullahi K., Hakeem A.S., Suryanarayana C., Laoui T., Nouari S. Powder Metallurgy, 2013, V. 56, Iss. 2, P.149-157.
91. Orlovskaya N., Xie Z., Klimov M., Heinrich H., Restrepo D., Blair R., Suryanarayana C. Journal of Materials Research, 2011, V. 26, Iss. 21, P. 2772-2779.
92. Suryanarayana C. Journal of Alloys and Compounds, 2011, V. 509, Iss. 1, P. S229-S234.
93. Бурканова Е.Ю., Фармаковский Б.В. Вопросы материаловедения. 2012. № 1 (69). С.80-85.

94. Горынин И.В., Бурханов Г.С., Фармаковский Б.В. Вопросы материаловедения. 2012. № 2 (70). С. 5-15.
95. Земляницын Е.Ю., Коркина М.А., Фармаковский Б.В. и др. Патент РФ №2426593 от 13.04.2009.
96. Самоделкин Е.А., Коркина М.А., Фармаковский Б.В. и др. Патент РФ № 2460817 от 18.11.2010.
97. Коркина М.А., Самоделкин Е.А., Фармаковский Б.В. и др. Патент РФ № 2460815 от 22.09.2010.
98. Петрович С.Ю., Черепанов В.П., Ярмолевич А.К., Фармаковский Б.В., Васильев А.Ф., Геращенко Д.А. Труды СПбГТУ. 2009. № 510. С. 96-104.
99. Геращенко Е.Ю., Рамалданова А.А., Красиков А.В., Самоделкин Е.А. Вопросы материаловедения. 2013. № 1 (73). С. 120-126.
100. Попович А.А. Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2009. № 1 (1). С. 26-37.
101. Попович А.А., Веревкин А.С., Разумов Н.Г., Попович Т.А. Вопросы материаловедения. 2014. № 1 (77). С. 97-102.
102. Онищенко Д.В., Попович А.А. Физическая мезомеханика. 2013. Т. 16. № 6. С. 103-109.
103. Попович А.А., Разумов Н.Г., Попович Т.А., Никифорова О.В., Новиков П.А. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 183 (1). С. 177-182.
104. Попович А.А., Разумов Н.Г., Силин А.О., Гюлиханданов Е.Л. Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2012. № 1. С. 18-22.
105. Попович А.А., Ван Цин Шен. Перспективные материалы. 2011. № 13. С. 913-917.
106. Онищенко Д.В., Попович А.А., Бойко Ю.Н. Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 2. С. 9-
107. Мироненко В.Н., Петрович С.Ю., Черепанов В.П., Окунев С.А., Васнев В.В. Патент на изобретение RUS 2353689 15.11.2006.
108. Окунев С.А., Черепанов В.П., Хмелевская В.Б., Петрович С.Ю., Баранов В.А. Патент на изобретение RUS 2256003 05.05.2003.
109. Русанов А.И. Термодинамические основы механохимии // Санкт-Петербург, 2006.
110. Русанов А.И. Журнал общей химии. 2007. Т. 77. № 4. С. 529-542.
111. Русанов А.И. Журнал общей химии. 2006. Т. 76. № 1. С. 7-12.

112. Русанов А.И., Есипова Н.Е., Емелина А.И. Журнал общей химии. 2007. Т. 77. № 12. С. 1963-1967.
113. Мовчан Т.Г., Есипова Н.Е., Ерюкин П.В., Русанов А.И., Урьев Н.Б. Коррозия: материалы, защита. 2005. № 12. С. 24-30.
114. Русанов А.И., Есипова Н.Е., Ицков С.В., Блинов Е.В. Коррозия: материалы, защита. 2012. № 3. С. 39-43.
115. Программа научных исследований государственных академий наук на 2008-2012 годы. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 27.02.2008 № 233-р.
116. Горынин И.В. Размышления с оптимизмом. СПб, 2014.
117. Мясоедов Б.Ф. «Умные материалы и перспективы их развития. Мат. 7-ой Всероссийской науч. конф. «Технологии и материалы для экстремальных условий». Туапсе, 15-22 сент. 2012 г., с 2-4.
118. Каблов Е.Н. Век умных материалов. Журн. «Эксперт», 2012, № 36.
119. Сарычев А.К. и Шалаев В.М. Электродинамика метаматериалов. «Научный мир», 2011, с. 224.
120. Астапенко В.А. Электромагнитные процессы в среде, наноплазмоника, метаматериалы. «Интеллект групп», 2012, 584 стр.
121. Вольпян О.Д. и Кузьмичев А.И. Отрицательное преломление волн. Введение в физику и технологию электромагнитных метаматериалов. «Аверс», 2012, 360 стр.
122. Горынин И.В. Размышления с оптимизмом. «СПБ ГПУ», СПб, 2014 . 525 с.
123. Патент РФ № 2354749. Способ получения наноструктурированных функционально-градиентных покрытий. Геращенко Д.А. и др.
124. Фармаковский Б.В. и др. Исследование адгезионной прочности композиционных армированных покрытий системы металл-неметалл, полученных методом ХГДН. «Вопросы материаловедения, СПб, 2014, № 2(78), с. 103-117.
125. Марголин В.И. и др. Введение в нанотехнологию. СПб, Москва, Краснодар, 2012.
126. Горынин И.В., Бурханов Г.С., Фармаковский Б.В. Перспективы разработок конструкционных материалов на основе тугоплавких металлов и соединений. «Вопросы материаловедения». ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», 2012, №2(70).
127. Бурханов Г.С. Прогнозирование интерметаллических соединений. «Успехи химии», 2009, т.78, № 6, с. 615-634.
128. Бурханов Г.С. Конструкционные материалы на основе редких металлов. «Металлы», 2007, №5, с 57-61.
129. Innovations and Nanotechnologies of Russia 1(2), 2012. Igor Gorynin, Viktor Malishevsky, Boris Farmakovsky, p.64-68.

130. Куранов А.Л. и др. Каталитические технологии в новых областях/ Материалы симпозиума «Термохимические и плазменные процессы в плазменной аэродинамике. СПб, 15-19 июля 2002.
131. Виноградова Т.С. и др. Разработка высокоэффективных пористых носителей на металлической основе. II симпозиум «Термохимические процессы в плазменной аэродинамике», СПб, 10-12 сентября, 2001 г.
132. Юрков М.А. и др. Разработка технологии микроплазменного напыления объемно-пористых покрытий на основе интерметаллидов системы Ni-Al. Вопросы материаловедения, 2011,2(66).
133. Ешметьева Е.Н. и др. Магнетронное напыление функционально-градиентных покрытий системы Ti-Ru-O для систем очистки воды.— Вопросы материаловедения. ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» 2014, 3(79) с. 90-96.
134. Trassatti S. Electro catalysis: understanding the success of DSA. *Electrochimica Acta* – 2008, №45, p.2377-2385.
135. Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы. V-е Ставеровские чтения. Красноярск, 2009, с.268-272.
136. Горынин И.В., Орыщенко А.С., Фармаковский Б.В., Кузнецов П.А. Вопросы материаловедения, 2014, 2(78), с. 85-96.
137. По пути созидания. п/р. акад Горынина И.В., т. II, 2009, с. 121-124.
138. Современные машиностроительные материалы. Справочник под ред. Горынина И.В. и Орыщенко А.С. СПб, НПО «Профессионал, 2012. 916 с.
139. Бахарева В.Е. и др. Применение антифрикционных теплостойких углепластиков для подшипников паровых турбин. Вопросы материаловедения, 2012, №4(72), с. 171-181.
140. Витязь П.А. и Жорник В.И. Антифрикционные материалы и покрытия, модифицированные наноразмерными алмазографитовыми добавками. Порошковая металлургия. 8-й международный симпозиум. Минск, 2013, 10-12 апреля.
141. Жабрев В.А. и др. Физико-химические процессы синтеза наноразмерных объектов. СПб, «Элмор», 2012, 327 с.
142. Тенденции развития российской и мировой науки / [Науч. ред. Миндели Л.Э.] М.: Ин-т проблем развития науки РАН, 2014. 471 с.1.
143. Кондратьев Н.Д. Проблемы экономической динамики. М.: Экономика. 1989. С. 202.
144. Сурков В. Обновляйтесь, господа! // Итоги. 2009. № 44.
145. Корчак В.Ю. Становление и развитие системы организации фундаментальных исследований в интересах ВМФ России / В.Ю.Корчак, В.Л.Чулков, Л.А.

- Котелюк//Фундаментальная наука военно-морскому флоту России: сборник трудов научной конференции (02 июля 2013; Москва)/СПП при Президиуме РАН. Москва, 2013. С.9-15.
146. Лахтин Г.А., Миндели Л. Э. Контуры научно-технической политики. М.: ЦИСН. 2000. С. 30-34.
147. Ленчук Е.Б., Власкин Г.А. Инвестиционные аспекты инновационного роста М.: ЛИБРОКОМ. 2009. С. 142.
148. Дежина И.Г. Государственное регулирование науки в России. М.: Магистр. 2008. С. 110.
149. Ленчук Е.Б., Власкин Г. А. Инвестиционные аспекты инновационного роста. М.: ЛИБРОКОМ. 2009. С. 142.
150. Фундаментальная наука в России: состояние и перспективы развития. Доклад Научно-организационного управления РАН. М.: 2009. С. 21.
151. Некипелов А. Д. Проблемы финансирования фундаментальных исследований в Российской академии наук / Аналитический сборник по материалам парламентских слушаний “Приоритеты поддержки отечественной науки и механизмы стимулирования инновационной деятельности”. М.: Издание Совета Федерации. 2009. С. 17.
152. Алисов Н.В. Классификация видов человеческой деятельности в системе мирового хозяйства. В сб.: "Пространственные структуры мирового хозяйства", М., 1999.
153. Алисов Н.В., Крылов В.А., Миронов М.А. Географические особенности трансферта технологий и миграции производства в системе мирового хозяйства. В сб.: "География инновационной сферы мирового хозяйства". М., 2000.
154. Коуэл С., Фелант Т.Д. Научная продуктивность различных стран. В: РЖ "Науковедение" № 3, 2000.

4 Развитие фундаментальных научных исследований в области химических наук

4.1. Анализ состояния и перспективных направлений развития химии и технологии неорганических материалов вида «ядро – оболочка» на ближайшие 10 – 15 лет

Одно из активно развивающихся направлений развития неорганической химии и неорганических материалов, которое в настоящее время и на ближайшие 10 – 15 лет можно выделить в самостоятельное, связано с созданием систем «ядро – оболочка» (“core - shell”). При этом под «ядром» подразумевается широкий спектр твердофазных матриц: частицы различной формы, волокна, пластины, пленки, готовые изделия, т.е. объекты любой геометрической формы и размеров. То же можно сказать и о понятии «оболочка», которое целесообразно было бы определить в более широком смысле как «поверхностная структура» - это синтезированные на поверхности как отдельные функциональные группы, так и кластеры, слои (покрытия). При этом активно развиваются работы по созданию гибридных органо-неорганических композитов.

4.1.1 Состояние исследований по основным методам создания, видам и областям применения материалов на основе систем «ядро – оболочка»

Повышенный интерес к системам «ядро-облочка» (“Core-Shel”) в значительной степени обусловлен активным развитием в последние 15-20 лет исследований в области нанотехнологий и наноматериалов.

К настоящему времени можно выделить следующие основные методы синтеза наноструктур (пленок, кластеров, отдельных атомов и функциональных групп) на поверхности твердых тел, которые активно исследуются и применяются как в России, так и в развитых странах.

Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) с использованием твердых, жидких и газовых источников, молекулярно-лучевая эпитаксия металлоорганических соединений (МЛЭМОС).

Химическое осаждение из газовой фазы (ХОГФ) (CVD - “chemical vapour deposition”), в том числе, в сочетании с различными физическими воздействиями (лазерные, ультрафиолетовые, электромагнитные и др.).

Выращивание пленок путем осаждения материала из паровой фазы с использованием металлоорганических соединений и гидридов (МОС-гидридная

технология) считают в настоящее время одним из наиболее перспективных приемов нанотехнологии.

Золь-гель процесс получения пленок, ионное наслаивание (ИН), метод молекулярного наслаивания (МН).

Метод МН (разработан В.Б. Алесковским и С.И. Кольцовым) позволяет осуществлять поэтапную химическую сборку поверхностных нано-, микро- и макроструктур путем многократного чередования химических реакций по заданной программе.

Метод МН получил широкое международное признание и в настоящее время, известный за рубежом под названием атомно-слоевое осаждение – АСО (Atomic Layer Deposition – ALD), является одним из наиболее перспективных и динамично развивающихся направлений в области создания систем «ядро – (нано)оболочка» в таких странах, как Финляндия, США, Германия, Япония, Китай, Великобритания, Южная Корея.

Технология пленок Ленгмюра-Блоджетт уже в настоящее время перспективна при получении диэлектриков, нанорезистов, просветляющих покрытий в оптике, антифрикционных покрытий.

Туннельно-зондовая нанотехнология в сочетании с химическими процессами.

Системы «ядро – оболочка» находят применение и в комбинированных технологиях, например, с использованием «жертвенного слоя». Примером такого процесса являются принц-технология, темплатный синтез.

Таким образом, достаточно обоснованно можно утверждать, что системы «ядро – оболочка» занимают самостоятельную междисциплинарную нишу в химии и материаловедении.

Основной вклад в создание систем «ядро – оболочка» вносят химические подходы, в ряде случаев используемые в сочетании с физическими воздействиями.

Экспериментально обоснованы широкие области применения систем «ядро – оболочка» в различных областях науки и техники, что свидетельствует о ярко выраженном междисциплинарном характере данного направления.

4.1.2 Основные области отстаивания российских исследований от ведущих зарубежных стран в области создания и применения материалов вида «ядро – оболочка» и пути их преодоления

Оценивая основные области отставания России от развитых западных стран в области создания и практической реализации систем «ядро – оболочка» можно оценивать со следующих основных позиций:

1) Сдерживание работ в области фундаментальных исследований обусловлено отсутствием качественного сырья (прекурсоров). С учетом отмеченного, необходимо развивать изготовление самых разных прекурсоров и обеспечить их доступность исследователям. Решение указанной проблемы позволит существенно повысить эффективность и прикладных разработок.

2) Наиболее серьезное отставание России от зарубежных партнеров связано с отсутствием промышленной технологической базы, Россия (как и ранее СССР) вынуждена в большинстве случаев закупать за границей как высокие технологии, так и промышленное оборудование для реализации этих технологий. Для решения проблемы импортозамещения технологического оборудования необходима серьезная поддержка отечественных производителей.

4.1.3 Перспективные направления развития разработок в области создания и применения материалов вида «ядро – оболочка»

При рассмотрении вопросов дальнейшего развития химии и технологии материалов вида «ядро – оболочка» необходимо исходить из их ярко выраженного междисциплинарного характера, т.е. можно говорить о конвергенции нано-, био- и когнитивных технологий.

К таким направлениям можно отнести создание диэлектрических, проводящих и полупроводниковых нанопокровов для электроники, микро- и нанозлектромеханических систем, альтернативных источников энергии (суперконденсаторы; элементы солнечных батарей), сенсорных датчиков, гетерогенных катализаторов, сорбентов, в том числе в мембранных процессах, средств адресной доставки лекарств в организме человека, биосовместимых материалов при конструировании имплантатов, нового поколения магнитных, оптических материалов, функциональных покрытий для регулирования свойств оксидных и бескислородных керамических, композиционных материалов.

Важным и весьма перспективным представляется разработка гибридных органо-неорганических структур, включающих в качестве ядра или оболочки органические компоненты. Такие системы найдут применение при конструировании гибких электролюминесцентных систем, разработке электретных материалов нового поколения.

Учитывая ситуацию с импортом, в ближайшие годы будет активно развиваться НИОКР, направленные на разработку и создание отечественного технологического

оборудования, а также на создание новых видов прекурсоров на основе элементарно-органических соединений.

Учитывая широкий спектр материалов, которые можно синтезировать по схеме нанесения структур на поверхность различных носителей, все большее внимание с целью оптимизации режимов синтеза, прогнозирования состава и свойств целевых продуктов находят квантово-химические подходы, компьютерное и математическое моделирование.

Появление новых твердофазных носителей, таких, как фуллерены, углеродные и неорганические нанотрубки, графен, представляет интерес не только фундаментальный, но и практический в качестве носителей при создании новых материалов вида «ядро – оболочка».

Список библиографических источников

1. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 г. Министерство образования и науки РФ. Москва, декабрь 2013 г. ДМ-П8-5.
2. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований./ Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Адвисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с., ил.
3. Токумицу Э., Такахаси К. Технология выращивания сверхтонких полупроводниковых пленок. Нихон Кэссе Гаккай Си. - 1986.- Т. 28, N 2. - С. 124-132.
4. 21. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы/ Под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 456 с.
5. Блинов Л.М. Физические свойства и применение лангмюровских моно - и мультимолекулярных структур.// Успехи химии. - 1983. - Т. 52, N 8. - С. 1263-1300.
6. Алесковский В.Б. // Журн. Прикл. Хим. 1974. Т. 47. Вып. 10. С. 2145.
7. В.Б. Алесковский. Стехиометрия м синтез твердых соединений. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л., 1976, с. 1 – 142.
8. Riikka L. Puurunen. Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminum / water process / Riikka L. Puurunen // Journal of Applied Physics. – 2005. – Vol. 97, – P. 121301-1 – 121301-52.
9. Ville Miikkulainen, Markku Leskelä, Mikko Ritala, and Riikka L. Puurunen. Crystallinity of inorganic films grown by atomic layer deposition: Overview and general trends. J. Appl. Phys. 113, 021301 (2013); doi: 10.1063/1.4757907
10. Membranes Prepared via Molecular Layering Method./ A.A.Malygin, A.A.Malkov, S.V.Mikhaylovskiy, S.D.Dubrovensky, N.L.Basov, M.M.Ermilova, N.V.Orekhova,

- G.F.Tereschenko// Membranes for Membrane Reactors: Preparation, Optimization and Selection. Ed. by A.Basile and F.Gallucci.- Wiley, 2011.- P.357-369.
11. А.А. Малыгин. Нанотехнология молекулярного наслаивания (обзор). Российские нанотехнологии, 2007, том 2, № 3-4, апрель, стр. 87 – 100
 12. Толстой В. П. Реакции ионного наслаивания. Применение в нанотехнологии. // Успехи химии. 2006. № 2. С. 183—199.
 13. Г. Бинниг, Г. Рорер. Нобелевские лекции по физике - 1986. Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности. Успехи физических наук. 1988, т. 154, вып. 2, с. 261 – 272.
 14. Неволин В.К. Физические основы туннельно-зондовой нанотехнологии. - Электронная промышленность, 1993, вып. 3, с.8-11.
 15. Prinz V. Ya. *et. al.* Nanoscale engineering using controllable formation of ultra-thin cracks in heterostructures *Microelectronic Engineering* **30**, 439 (1996).

4.1.4 Материалы ядро-оболочка с магнитными свойствами для электроники, нано- и биофотоники.

На современном этапе актуальной задачей становится синтез наноматериалов со сложной структурой, обладающих широким набором различных свойств. Одним из подходов к созданию таких материалов является создание структур ядро-оболочка, в которых ядро и оболочка обладают различными функциональными свойствами [1]. Например, ядро может обеспечивать требуемые электрические свойства для создания материалов электронной техники, а оболочка - требуемые характеристики поверхности, обеспечивающие совместимость материала с полимерной матрицей в композите. Другим примером является материал с ядром, обеспечивающим требуемые электрические и оптические свойства для создания материалов электронной техники, а оболочка – магнитные свойства, позволяющие создавать анизотропные, градиентные и магниточувствительные материалы. Третьим примером являются фармакологические препараты для диагностики и лечения онкологических заболеваний, которые представляют собой композиционные нанодисперсные порошки со структурой «ядро/оболочка». В качестве ядра используются магнитные частицы состава $M_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ [$M = Mn, Fe(II), Co$], а также люминофоры на основе иттрий-алюминиевого граната, легированного европием и самарием, и на основе фосфатов цинка. Магнитные материалы обеспечивают их адресную доставку к больному органу. Оболочки также служат для улучшения биосовместимости и снижения токсичности наночастиц. Кроме того,

кремнеземные и органо-неорганические матрицы могут быть носителями необходимых лекарственных форм [2-5].

СПбГТИ(ТУ) и ИХС РАН имеют широкий спектр компетенций для создания такого класса материалов, в частности методами золь-гель и газового транспорта.

Развитие работ по описанной тематике позволит создать инновационные материалы для медицины, фотоники, оптики, электроники, светотехники. Эти материалы востребованы научными организациями и промышленными предприятиями Северо-Западного региона: ГОИ им. Вавилова, ПИЯФ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ОАО «Светлана-Оптоэлектроника», ОАО «Алмаз-Антей», ОАО «Оптоган», ООО «Микросфера» и др.

Список библиографических источников

1. Сычев М.М. Научные основы управления свойствами композиционных пленок для электролюминесцентных устройств // диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2013.
2. Хамова Т.В., Коловангина Е.С., Мякин С.В., Сычев М.М., Шилова О.А. Модифицирование субмикронных частиц титаната бария золь-гель синтезом поверхностных нанослоев SiO_2 для изготовления полимерно-неорганических композитов с улучшенными диэлектрическими свойствами // Журнал общей химии, 2013. Т.83, №8. с.1365-136.
3. Мякин С.В., Корсаков В.Г., Панова Т.И., Соснов Е.А., Фомченкова Ю.С., Сычев М.М., Шилова О.А. Влияние модифицирования BaTiO_3 на диэлектрическую проницаемость его композитов с цианэтиловым эфиром поливинилового спирта // Физика и химия стекла. 2011. Т.37. №6. С.65-73.
4. M. Sychov. Acid-base aspect of control of nanocomposite electric properties. // Smart nanocomposites, 2014. В печати.
5. M. Sychov. Core-shell approach to control acid-base properties of surface of dielectric and permittivity of its composite. //Chem. Letters, 2015. В печати

4.2 Обзор перспектив развития химии в области создания защитных биостойких покрытий

Золь-гель технология является нанотехнологией, т.е. с ее помощью можно формировать наноструктурированные материалы и покрытия [1-4]. Последние являются одними из первых и успешно используемых объектов, получаемых этим методом. В последние три десятилетия активно используются достоинства золь-гель метода для синтеза нанокomпозиционных органо-неорганических покрытий, которые обладают свойствами как неорганических, так и органических материалов. При этом в процессе синтеза *in situ* в матрицы формируемых гибридных покрытий можно вводить специальные добавки – красители, катализаторы, люминесцирующие, биологически активные и другие вещества, которые в виде нановключений распределяются в структуре покрытий и придают им необходимые техничеcки ценные свойства.

В 21 веке при создании биостойких покрытий особое значение придается отказу от использования сильно действующих биоцидных добавок. Вместо этого пытаются переходить на, так называемые, «мягкие» биоциды, которые при внедрении в структуру покрытий не оказывают разрушительного действия на окружающую среду [5-10]. Например, в качестве «мягких» биоцидов, успешно ингибирующих различные виды плесневых грибов, используют различные фотосенсибилизирующие вещества, способные под действием ультрафиолетового облучения вырабатывать озон и другие активные формы кислорода, а также детонационный наноалмаз. Для защиты от биообрастания предлагаются как органические, так и неорганические соединения. Это могут быть синтетические химические соединения, которые аналогичны естественной защите морских организмов от эпидиоза – бензойная, таниновая, диэтилбарбитуратовая кислоты, производные от витамина К₃ и др., а также соединения переходных металлов – антагонистов кальция [11,12]. Эти добавки можно вводить в органо-неорганические, в том числе органосиликатные, а также лакокрасочные матрицы. Получаемые покрытия, не содержащие высокотоксичных соединений меди, олова и других жестких биоцидов, востребованы для защиты зданий и сооружений от биодеструкции и для противодействия морскому обрастанию плавсредств. Преимущество подобных покрытий заключается в том, что живые организмы при взаимодействии с ними не погибают – происходит лишь ингибирование процессов, ответственных за прикрепление, рост или развитие этих организмов. Однако защитное действие таких покрытий не всегда равноценно действию покрытий с высокотоксичными биоцидными добавками, в ряде случаев наблюдается недолговечность их действия, особенно при использовании органических добавок.

Поэтому изыскиваются пути повышения эффективности действия покрытий с «мягкими» биоцидами. Одним из возможных путей является создание особого рельефа поверхности [13,14]. Как правило, шероховатость поверхности способствует развитию микроорганизмов. В то же время нанорельеф может препятствовать как их прикреплению, так и ингибировать их развитие, поскольку размеры организмов сравнимы или больше нанометровых расстояний между выступами рельефа. Речь может идти о так называемых супергидрофобных покрытиях [15]. Влияние нанорельефа поверхности на жизнедеятельность микроорганизмов еще не достаточно исследовано. При этом не менее перспективными могут оказаться и супергидрофильные, самоочищающиеся покрытия. В настоящее время их получают в основном на основе диоксида титана. При этом проблемы закрепления «мягких» биоцидов на поверхности защищаемого объекта без потери эффективности, обеспечения долговечности, устойчивости к дождеванию остается на повестке дня.

Список библиографических источников

1. Handbook of Sol-Gel Science and Technology: Processing Characterization, and Applications, V. 1-3 / Ed. S. Sakka, Kluwer Academic Publishers, New York, 2004.
2. Шевченко В. Я. Институт химии силикатов РАН. Исследования в области наномира и нанотехнологий // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3. № 11-12. С. 36-47.
3. Шилова О. А. Наноразмерные пленки, получаемые из золь на основе тетраэтоксисилана, и их применение в планарной технологии изготовления полупроводниковых газовых сенсоров // Физика и химия стекла. 2005. Т. 31, № 2. С. 270–294.
4. Shilova O.A. Synthesis and structure features of composite silicate and hybrid TEOS-derived thin films doped by inorganic and organic additives // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2013. V. 68, N 3. P. 387-410. – Doi: 10.1007/s10971-013-3026-5.
5. Власов Д.Ю., Маругин А.М., Франк-Каменецкая О.В., О.А. Шилова и др. Новые подходы к защите памятников из камня от биологического разрушения // Фундаментальные основы инновационных биологических проектов в "Наукограде". Тр. Биол. НИИ СПбГУ /Сб. статей под ред. Д.Ю. Власова, Д.В. Осипова/ СПб.: СПбГУ. Вып. 54. 2008. С.244-253.
6. Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В., Маругин А.М., О.А. Шилова и др. Новые принципы защиты памятников из камня от биологических повреждений // Памятники. Вектор наблюдения: Сборник статей по реставрации скульптуры и мониторингу состояния памятников в городской среде / Гос. музей гор. скульптуры;

- [составитель В.В. Рытикова и др.; под общ ред. В.Н. Тимофеева]. - СПб.: Союз-Дизайн, 2008. С. 62-66.
7. Shilova O.A., Khamova T.V., Vlasov D.Yu., et al. Sol-gel synthesis and investigation nanocomposite protective biostable coatings (расширенные тезисы) // Nanotechnology International Forum. RUSNANOTECH'09. Abstracts. The Second Nanotechnology International Forum. Moscow: Rusnano, 2009, p. 342-344.
 8. Frank-Kamenetskaya O.V., Vlasov D.Yu., Shilova O.A. Biogenic crystal genesis on a carbonate rock monument surface: the main factors and mechanisms, the development of nanotechnological ways of inhibition // Minerals as Advanced Materials II /Ed. S.V. Krivovichev/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, p.401-413.
 9. Т.В. Хамова, О.А. Шилова, Д.Ю. Власов, Ю.В. Рябушева, В.М. и др. Биоактивные покрытия для каменных материалов на основе эпоксисилоксановых зольей, модифицированных наноалмазами // Неорганические материалы. 2012. Т. 48., № 7. С. 803-810.
 10. Пат. 2382059 Российская Федерация, МПК C08K5/5415, C08K3/04, C09D5/14, C08L63/00, B82B1/00. Композиция для получения биологически стойкого покрытия /Шилова О.А., Хамова Т.В., Михальчук В.М. и др./ – № 2008135258/04; заявл. 21.08.2008; опубл. 20.02.2010, Бюл. № 5. – 7 с.
 11. Раилкин А.И. Колонизация твердых тел бентоносными организмами. СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2008. 427 с.
 12. Раилкин А.И., Чикадзе С.З., Шилова О.А. Морское биологическое обрастание и перспективы создания экологически безопасных противообрастательных покрытий //Фундаментальные основы инновационных биологических проектов в «Наукограде»: Сб. статей /под ред. Д.Ю. Власова, Д.В. Осипова. – СПб.: Изд-во С. _Петербургского ун-та, 2008. (Тр. Биол.НИИ СПбГУ; вып. 54) – С.210-231.
 13. Cao S., Wang JD., Chen HS., Chen DR. Progress of marine biofouling and antifouling technologies. Review. // Chines Sci. Bull. 2011. V. 56. N 7. P. 598-612.
 14. О.А. Шилова, Л.И. Ефимова, А.И. Раилкин, С.Н. Бочаров Разработка и исследование противообрастательных покрытий, не содержащих жестких биоцидов //XXII Всероссийское совещание по неорганическим и органосиликатным покрытиям: Тезисы докладов. СПб.: ООО «Изд-во “ЛЭМА”». 2014. С. 46-47.
 15. Шилова О.А., Проскурина О.И., Антипов В.Н., Хамова Т.В., Есипова Н.Е., Пугачев К.Э., Ладилина Е.Ю., Кручинина И.Ю. Золь-гель синтез и гидрофобные свойства антифрикционных покрытий для использования в высокооборотных минитурбогенераторах // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40. № 3. С. 419-425.

4.3. Анализ состояния и перспективных направлений развития химии углеродных материалов

Как известно, в последние несколько десятков лет достигнуты впечатляющие успехи в развитии химии углеродных материалов и создании на их основе новых практически важных материалов с уникальными функциональными характеристиками. К таким углеродным материалам относят, прежде всего, ультрадисперсные алмазы (УДА), углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна, нанопористые углеродные материалы, фуллерены, графен и отчасти так называемые МАКСены - слоистые карбиды ряда переходных металлов.

В нашей стране УДА используют в качестве компонентов в композиционных металл-алмазных покрытиях, в полимерных пленках и мембранах, в резинах различного состава, в антифрикционных и противоизносных присадках различных смазок, в полировальных композициях и шлифовальных материалах. УДА служат для изготовления магнитотвердых и магнитомягких носителей информации, конструкционных материалов на основе термопластичных сополимеров этилена, а также для получения радиационно- и износостойких резин и, кроме того, они являются важнейшим компонентом в технологических процессах утилизации автомобильных шин. Проводятся исследования по спеканию УДА при действии высоких давлений для изготовления режущих инструментов и абразивов, по использованию в медицинских целях в качестве антиракового препарата и компонента таких препаратов, эффективного гастроэнтерологического средства, сорбента для очистки крови и лимфы, иммобилизатора биологически активных веществ и др. Следует отметить, что в Санкт-Петербурге в СКТБ «Технолог», разработаны промышленные технологии детонационного синтеза УДА, которые позволяют производить наноалмазы (в виде порошков или суспензий) в количествах, исчисляемых тоннами [1, 2].

Другими важнейшими углеродными наноматериалами, которые привлекают все возрастающее внимание специалистов начиная с последнего десятилетия прошлого века являются УНТ. Так, если в 2000 году согласно базе данных Scopus публиковалось около 1800 статей на эту тему, то в 2005 превысило уже 10000 статей и далее в 2013 году 40000. По числу публикаций в 2006 г. УНТ вышли на одно из первых мест среди наиболее исследуемых объектов. И в этом отношении они опережают другие объекты нанотехнологии, такие как нанопроволоки, квантовые точки, фуллерены и т.д. В УНТ размерные эффекты проявляются иначе, чем в большинстве наночастиц других неорганических наноматериалов и уникальный набор свойств ставит их в ряд наиболее

перспективных веществ для разработки новых конструкционных и функциональных материалов.

УНТ обладают низкой плотностью, высокими удельной поверхностью, отношением площади поверхности к объему и длины к диаметру. Многие УНТ имеют рекордно высокие значения механических характеристик, а также электро- и теплопроводности и это определяет потенциал их практического применения, например в качестве наполнителей различных, в том числе полимерных материалов. В 2001 году на тему получения композитов УНТ с полимерами было опубликовано 80 статей, в 2003 – более 300, и в настоящее время уже более десяти зарубежных фирм выпускают такие нанокompозиты. Достаточно сказать, что в 2008 году появились обзоры рынка нанокompозитов

Кроме полимеров к числу нанокompозитов с участием УНТ относят композиты на основе керамики, бетона, различных стекол, металлов и сплавов, а также биоматериалов.

Известны также работы, посвященные получению электродов суперконденсаторов на основе композитов УНТ и наноразмерных кристаллов оксидов или гидроксидов никеля, рутения, марганца и др. Для ряда таких электродов удалось достичь рекордно большой емкости равной 2436 Ф/г [3-7].

Обсуждая возможности практического применения материалов на основе фуллеренов следует отметить сверхпроводящие соединения фуллеренов с атомами различных металлов, тонкие пленки и растворы фуллеренов, имеющие нелинейные оптические характеристиками, а также различные химические соединения и полимеры на основе фуллеренов, имеющие уникальные физико-химические и механические свойства и т.д [8-12].

Впечатляющие успехи были достигнуты и при получении и исследовании других 2D материалов и, в частности, так называемых МАКСенов (производных МАХ-фаз) [13].

МАХ-фазы представляют большое семейство соединений с формальной стехиометрией $M_{n+1}AX_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), где М — переходный d -металл, А — p -элемент (например, Si, Ge, Al, S, Sn и др.), X — углерод или азот.

В настоящее время изучен ряд свойств МАКСенов. Установлено, в частности, что их проводимость сравнима с проводимостью многослойных графенов они могут быть интеркалированы различными щелочными металлами, в том числе литием и это открывает возможность, с учетом результатов по прессованию таких соединений, для создания новых анодов литиевых батарей. Предложены также и другие перспективные области применения МАКСенов, в том числе в качестве материалов 2D-электроники, компонентов полимерсодержащих композитов, для создания сенсоров и т.д.

Перспективы развития химии углеродных материалов в Санкт-Петербурге

Проведенный анализ развития исследований в области химии углеродных материалов, таким образом, позволяет однозначно уверенностью, что исследования и разработки в этой области стали особым разделом общей науки о материалах и сами такие материалы стали промышленным товаром, основой и компонентами большого числа новых материалов и изделий, а их производство становится отдельной отраслью промышленности.

Мировыми лидерами по объему производства являются страны Азии и среди них Япония, которые производят УНТ в два-три раза больше, чем страны Европы и Америки. В Японии только для производства литий-ионных аккумуляторов применяют тонны УНТ [14].

В Санкт-Петербурге также имеется существенный научный задел в данной области. Как следует из анализа базы данных Scopus аффилированными в городе научными лабораториями опубликовано около 500 работ в области химии фуллеренов, 150 – УНТ, 200 – графена и 100 УДА. Причем, наиболее заметный вклад в химию фуллеренов внесли работы, выполненные в ИВС РАН, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ГОИ им. С.И.Вавилова, СПбГТУ, СПбТИ(ТУ), ИПМ, ИХ СПбГУ и ЗАО ИЛИП и др., в химию УНТ - СПбГУ, ИВС, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, СПбГТУ и др., химию графена – СПбГУ, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, СПбГТУ, ИПМ РАН, ИТМО и др., химию УДА - СПбТИ(ТУ), ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ЦНИИМ и др. Проведенные в этих организациях работы могут являться хорошей базой для дальнейшего развития научных исследований в этой перспективной области. Следует отметить, что развитые технологии получения, например в СПбТИ(ТУ) УДА и ЗАО ИЛИП фуллеренов послужили основой для организации их с производства с хорошими перспективами практического применения в России, а также имеющего экспортный потенциал.

Список библиографических источников

1. О. Н. Ефимов, Н. Н. Вершинин, В. Ф. Таций, А. Л. Гусев, Н. Ф. Гольдшлегер Наноалмазы и катализ, International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology № 6 (50) 2007 pp. 98-110
2. В.Ю.Долматов, Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза: свойства и применение, Успехи химии 70 (7) 2001 стр. 687-706].
3. D.N.Futaba, T.Yamada, K.Kobashi, M.Yumura, K.Hata, J. Am. Chem. Soc., 133, 5716 (2011)]

4. World Nanocomposites Market. Nanocomposites MCP-1526. London, 2008
5. K.Mylvaganam, L.C.Zhang. Recent Patents Nanotechnol., 1, 59 (2007).
6. S.-J. Kima, G.-J. Parka, B.C. Kimc, J.-K. Chungb, G.G. Wallacec, S.-Y. Park, Synthetic Metals, 161 (2012) pp. 2641– 2646.
7. T.Hiraoka, A.Izadi-Najafabadi, T.Yamada, D.N.Futaba, S.Yasuda, O.Tanaike, H.Hatori, M.Yumura, S.Iijima, K.Hata. *Adv. Funct. Mater.*, 20, 422 (2010)
8. А. Приходько, О. Коньков. Углеродные наноструктуры как пример самоорганизованной критичности. ФТТ, 2012, т. 3, С.602-603.
9. [M. Popov](#), [V. Mordkovich](#), [S. Perfilov](#), [A. Kirichenko](#), [B. Kulnitskiy](#), [I. Perezhogin](#), [V. Blank](#), Synthesis of ultrahard fullerite with a catalytic 3D polymerization reaction of C₆₀, [Carbon](#), **V. 76**, September 2014, pp. 250–256.
10. Е.А. Грузинская, В.А. Кескинов, М.В Кескинова, К. Н. Семенов, Н.А. Чарыков, Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2012, 3 (6), С. 83-90.
11. Л.А.Чернозатонский, П.Б.Сорокин, А.А.Артюх, Новые наноструктуры на основе графена: физико-химические свойства и приложения, *Успехи химии* 83 (3) 290-279 (2014)]
12. J.Cai, P.Ruffieux, R.Jaafar, M.Bieri, T.Braun, S.Blankenbueg, M.Muoth, A.P.Seitsonen, M.Saleh, X.Feng, K.Mullen, R.Fasel. *Nature (London)*, 466, 470 (2010)]
13. А.Л.Ивановский, А.Н.Еняшин, Графеноподобные нанокарбиды и нанонитриды переходных металлов *Успехи химии* 82 (8) 290-746 (2013)].
14. Production and Application of Carbon Nanotubes, Carbon Nanofibers, Fullerenes, Graphene and Nanodiamonds: a Global Technology Survey and Market Analysis. Innovative Research and Production, Inc., Stamford, 2011.

4.4 Исследования явления сверхпроводимости для электроэнергетики и электротехники

Интенсивное применение явления сверхпроводимости и связанных с ним технологий является одним из важнейших направлений развития электроэнергетики и электротехники в ближайшие десятилетия. В настоящее время основные исследования в этих областях основаны на использовании высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Для успешного развития и расширения направлений практического применения сверхпроводимости необходимо проведение фундаментальных и прикладных исследований по следующим основным направлениям.

4.4.1 Создание длинномерных ленточных материалов из высокотемпературного сверхпроводника на основе иттрия поколения 2G

После открытия ВТСП в 1986 г. основные усилия были направлены на использование керамик на основе висмута. Это было первое поколение ВТСП. Ограничения по применению этого сверхпроводника были связаны с его высокой стоимостью, что практически исключало применение висмутовых проводов для общепромышленных устройств и могло быть оправданным только в специальной технике. Началась разработка ленточных проводов на основе иттрия. Несмотря на отставание от ведущих стран мира в этой области, в настоящее время приняты серьезные меры по организации производства отечественного сверхпроводника второго поколения (2G). Эта работа финансируется Госкорпорацией «Росатом» и из госбюджета и находится под контролем Научного совета по сверхпроводимости ГК «Росатом», который возглавляет директор Блока по инновациям Госкорпорации В.А.Першуков. Существует большое количество технологических процессов, направленных на производство проводов 2G [1]. В нашей стране основной акцент сделан на технологию импульсного лазерного осаждения $YBaCuO$ (PLD). К работам привлечены такие организации как РИЦ «Курчатовский институт», ОАО «НИИЭФА» и ОАО «ВНИИНМ». В результате проведены серьезные работы по освоению новых технологий, созданию производственных участков и т.д. Поэтому можно надеяться, что данная проблема, направленная на получение длинномерных лент (1 км и более) будет успешно решена.

Сопутствующие проблемы, связанные с созданием сверхпроводниковых электромагнитных и электромеханических преобразователей энергии, пока решаются плохо.

4.4.2 Разработки и исследования по созданию новых типов постоянных магнитов, которые могут работать при температурах жидкого водорода и неона (порядка 20 К)

В настоящее время широко применяются редкоземельные магниты на основе неодим-железо-бор [2]. Однако нежелательно их использовать при температурах ниже 120-110 К. В то же время уже становится очевидным тот факт, что во многих типах электротехнических устройств наиболее целесообразной рабочей температурой является температура жидких неона и водорода. Одним из таких магнитных материалов является Du_3Al_2 [3]. В последние годы к нему вновь проявляется интерес, причем основное внимание уделяется двум факторам: способность сохранять магнитные свойства при низких температурах, вплоть до температуры жидкого гелия (4.2 К), и высокие магнитные характеристики при этой температуре. Механизм намагничивания тоже считается не до конца изученным. Коэрцитивная сила при 4 К, по данным японских специалистов, составляет 20 кЭ (1600 кА/м), а $(BH)_{max}$ равно 73 МЭ (584 кДж/м³). Такие магниты могут быть использованы в ветроэнергетических установках в сочетании с высокотемпературными сверхпроводниками, в гребных электродвигателях для флота, в различных автономных электроэнергетических установках общепромышленного и специального назначения.

4.4.3 Совершенствование ленточных аморфных сплавов

Изготовление магнитных сердечников из ленточных аморфных сплавов [4] позволяет упростить технологию изготовления магнитопроводов и снизить потери в криогенной зоне (по сравнению с электротехническими сталями). Однако при отжиге готовых сердечников в магнитном поле с целью улучшения магнитных характеристик лента становится хрупкой, в ряде случаев начинает крошиться и прокалывает электрическую изоляцию. Процесс охрупчивания ленты ускоряется при термоциклировании ($20^{\circ}C - 77 K - 20^{\circ}C$), которое является неизбежным процессом, связанным с функционированием сверхпроводниковых устройств. Нами проводились опыты по термоциклированию отожженной ленты. Через 10 термоциклов образцы рассыпались. В результате в последних сверхпроводниковых устройствах мы приняли решение пожертвовать магнитными характеристиками, но магнитопроводы не отжигать. Хотелось бы найти компромиссное решение, поскольку применение аморфных ленточных сплавов позволяет существенно улучшить массогабаритные характеристики и снизить общие потери сверхпроводниковых устройств. Мы не проводили исследований при 20 К,

но можно не сомневаться, что в этом случае термоциклирование ускорит разрушение ленты [5,6].

4.4.4 Создание принципиально новых теплоизоляционных материалов и покрытий

Если на уровне температуры жидкого азота (77 К) эта проблема в какой-то степени решается как для статических, так и для вращающихся криостатов (речь идет об отказе от вакуумной изоляции), то для более низких температур решение пока не просматривается. Кроме того, нет достаточного опыта по исследованию долговечности существующих теплоизоляционных материалов при азотных температурах и температурах жидкого водорода.

Список библиографических источников

1. Токонесущие ленты второго поколения на основе высокотемпературных сверхпроводников. Под ред. А. Гояла. Пер. с англ. М.: Изд-во ЛКИ, 2009.
2. Белов К. Редкоземельные металлы, сплавы и соединения – новые магниты для техники. <http://www.valtar.ru/> Magnets 3.
3. Pan Sh. Rare-Earth Permanent Magnet Alloys High Temperature Transformation: In-situ and Syranic Observation and Its Application in Material Design. Springer. 2013.
4. <http://ferrite.com.ru>
5. Турубанов М.А., Чубраева Л.И., Шишлаков В.Ф. Эффективные технологии создания магнитных систем сверхпроводниковых устройств. – Известия РАН «Энергетика», №2, 2014. С.143 -156.
6. L.I. Chubraeva, V.F. Shyshlakov, M.A. Turubanov et al. Development of a Model Wind Power Installation Comprising High-Temperature Superconductors - Journal «Energy Science and Technology», volume 6, №2. 2013. ISSN: 1923-8460.

4.5 Ядерная медицина в Санкт-Петербурге. Синтез соединений, меченных короткоживущими радиоактивными изотопами, для использования в радионуклидной диагностике

Приоритетное научное направление – «Создание новых радиофармацевтических препаратов (РФП) для диагностики онкологических, кардиологических и других заболеваний методами ядерной медицины».

В рамках этого направления необходимо решение следующих задач:

- теоретическое обоснование выбора структуры соединения, ядерно-физических характеристик радионуклида и положения радиоактивной метки в молекуле с учетом метаболизма;
- разработка химической и радиохимической стратегии синтеза;
- разработка методов идентификации полученных соединений;
- проведение доклинических испытаний, подтверждающих диагностическую ценность новых РФП в *in-vivo* исследованиях нарушений различных процессов, характерных для опухолей (гликолиза, транспорта аминокислот, пролиферации, апоптоза и ангиогенеза, гипоксических состояний и др.), изменений рецепторных и нейротрансмиттерных взаимодействий, на молекулярном уровне

Это направление соответствует приоритетным направлениям развития мировой науки и приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники, утвержденным Президентом Российской Федерации.

4.5.1 Медицина и здравоохранение

По перечню ключевых тематических областей, подготовленный в соответствии с результатами долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 г.

- Молекулярная диагностика
- Молекулярное профилирование и выявление молекулярных и клеточных механизмов патогенеза
- Приоритетная задача является междисциплинарной и относится к областям науки): Химия, Биология, Фундаментальная медицина, Клиническая медицина, а также приоритетным направлениям и критическим технологиям, Биомедицинские и ветеринарные технологии

Актуальность приоритетной научной задачи

Методы радионуклидной диагностики (ядерной медицины), наиболее информативным, из которых является метод позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ), дают возможность создания современных подходов к лечению различных заболеваний в рамках концепции персонализированной медицины. По распределению радиоактивности меченого диагностического агента (радиофармпрепарата - РФП), регистрируемой с помощью детекторов ПЭТ-сканера, возможно выявление функциональных изменений в органах и тканях, появляющихся задолго до появления клинических симптомов. Основная область применения ПЭТ - онкодиагностика, где данный метод в сочетании с КТ позволяет не только выявлять злокачественные опухоли и метастазы, но получать важные параметры основных процессов, характерных для злокачественных новообразований. Это процессы гликолиза, пролиферации, апоптоза и ангиогенеза, гипоксические состояния и др. Для визуализации этих процессов разработаны высокоспецифичные РФП - биологически активные вещества (производные сахаров, аминокислот, пептидов и др), меченные короткоживущими (период полураспада от 2 до 110 мин) радиоактивными изотопами. Поскольку наиболее распространенные ПЭТ-радионуклиды (кислород-15, азот-13, углерод-11) являются основными биогенными элементами, а фтор-18 - замещает в молекулах атом водорода или гидроксила, число возможных диагностических агентов для ПЭТ практически не ограничено, что открывает огромные перспективы для диагностики. Так, в диагностике неврологических заболеваний (болезни Паркинсона, Альцгеймера, эпилепсии, депрессивных состояний и др.) ПЭТ не имеет конкурентов: благодаря исключительно высокой чувствительности и специфичности он позволяет выявлять нарушения, лежащие в основе этих патологий на рецепторном (молекулярном) уровне. ПЭТ является единственным методом оценки жизнеспособности миокарда, важного критерия для отбора пациентов для кардиохирургических операций у пациентов с ИБС. Использование ПЭТ позволяет существенно сократить как сроки доклинических и клинических испытаний новых лекарственных препаратов, так и расходы на эти исследования.

В России первый ПЭТ центр был открыт в 1991 г в Институте мозга человека (ИМЧ РАН), Санкт-Петербург. На сегодняшний день в нашей стране насчитывается более 20 ПЭТ центров, в том числе и в отдаленных регионах (Хабаровске, Уфе, Тюмени и др.). Для использования высокотехнологичного метода ПЭТ необходимо, кроме самого ПЭТ томографа, и дорогостоящее оборудование для производства РФП - циклотрон, современная радиохимическая лаборатория и аналитическое оборудование. Внедрение в клиническую практику даже хорошо известных за рубежом препаратов (не говоря уже о

новых радиотрейсерах) требует разработки автоматизированных экспресс технологий синтеза и контроля качества.

Вместе с тем на протяжении многих лет основным (а во многих ПЭТ центрах и единственным) РФП для клинического применения в России является меченный фтором-18 фторированный аналог глюкозы, 2- ^{18}F -2-дезоксид-D-глюкоза (^{18}F ФДГ). За годы развития ПЭТ в мире разработано и синтезировано множество РФП с различными механизмами накопления в опухоли, диагностическая ценность которых подтверждена в доклинических и клинических испытаниях; большинство из них не применяется в России. В мировой практике развитие ПЭТ связано именно с разработкой новых радиотрейсеров, тогда как в России такого рода исследования являются единичными. Несомненно, внедрение в клиническую диагностику других РФП в качестве замены или дополнения к ^{18}F ФДГ (“beyond ^{18}F ФДГ”), решаемое в рамках различных комплексных научных программ в Европе, США, Японии и др., является актуальной задачей и для развития ПЭТ в России. Эффективное использование ПЭТ может стать движущим фактором в разработке новых лекарственных субстанций в России, в противовес производству «дженериков».

В решение этой задачи могут быть вовлечены научные коллективы различного профиля. В Санкт-Петербурге, где наиболее развиты технологии ядерной медицины, имеется более чем 20 лет опыт проведения рутинных клинических ПЭТ исследований, производится централизованная доставка ^{18}F ФДГ в клиники, где установлены отдельные ПЭТ сканнеры; имеется опыт разработки автоматизированных технологий производства известных РФП и создания новых радиотрейсеров, налажено сотрудничество с ведущими Европейскими ПЭТ центрами, в учебные планы химического факультета СПбГУ (каф. радиохимии) введены специальные курсы по синтезу РФП для ядерной медицины в рамках бакалавриата и магистратуры, кроме того, работы по получению новых радиоизотопов для ядерной медицины проводятся в Петербургском институте ядерной физики (ПИЯФ, Гатчина) совместно с кафедрой радиохимии СПбГУ. Основные научные результаты получены в ФГБУН Институт Мозга Человека им. Н.П. Бехтерева Российской Академии наук (ИМЧ РАН), Санкт-Петербург; кроме того, прикладные исследования по применению ПЭТ в клинической диагностике активно проводятся в ФГУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий Федерального агентства по высокотехнологической медицинской помощи» (РНЦ РХТ), Песочное, Санкт-Петербург.

В ИМЧ РАН в сотрудничестве с ИНЭОС РАН, Москва, разработаны оригинальные методы асимметрического синтеза меченных фтором-18 аминокислот, содержащих метку

фтор-18 в ароматическом кольце или алкильном фрагменте; на оригинальный метод асимметрического синтеза 4-[¹⁸F]FGlu получены патент РФ и международный патент с приоритетом Российской заявки; создан новый РФП класса рецепторных радиолигандов - [¹⁸F]флюмазенил, антагонист центральных бензодиазепиновых рецепторов - радиотрейсер для диагностики эпилепсии методом ПЭТ. В настоящее время ИМЧ РАН и РНЦ РХТ имеют коллективы специалистов, способных проводить исследования по данной теме на высоком научном уровне, что подтверждается приведенными ниже публикациями.

На разных этапах разработки новых РФП в Санкт-Петербурге может быть использован научный потенциал сотрудников следующих научных организаций:

- Институт химии СПбГУ (каф. радиохимии, каф. органической химии, каф. природных соединений);
- ФГБУН Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург (модели опухолей);
- ФГБУН Институт высокомолекулярных соединений (меченые биополимеры),
- Радиевый институт им. В.Г. Хлопина (производство различных радионуклидов);
- Отделение молекулярной и радиационной биофизики ПИЯФ им. Б.П. Константинова НИЦ "Курчатовский институт" и другие.

Список библиографических источников

1. R.N. Krasikova, V.V. Zaitsev, S.M. Ametamey, O.F. Kuznetsova, O.S. Fedorova, I.K. Mosevich, Y.N. Belokon, Š. Vyskočil, S.V. Shatik, M. Nader, P.A. Schubiger. Catalytic enantioselective synthesis of ¹⁸F-fluorinated α -amino acids under phase transfer conditions using (S)-NOBIN. Nucl. Med. Biol. 2004; 31: 597-603.
2. N.N. Ryzhikov, N. Seneca, R.N. Krasikova, N.A. Gomzina, E. Shchukin, O.S. Fedorova, D.A. Vassiliev, B. Gulyás, H. Hall, I. Savic, C. Halldin. Preparation of high specific radioactivity [¹⁸F]flumazenil and its evaluation in cynomolgus monkey by positron emission tomography. Nucl. Med. Biol. 2005; 32: 109-116.
3. R.N. Krasikova, O.F. Kuznetsova, O.S. Fedorova, V.I. Maleev, T. F. Savel'eva, Yu. N. Belokon. No carrier added synthesis of O-(2'-[¹⁸F]fluoroethyl)-L-tyrosine via a novel type of chiral enantiomerically pure precursor, Ni^{II} complex of a (S)-tyrosine Schiff base. Bioorg. Med. Chem. 2008; 16 (9): 4994-5003.
4. R.N. Krasikova, J. Andersson, P. Truong, S. Nag, E.V. Shchukin, C. Halldin. A fully automated one pot synthesis of [carbonyl-¹¹C]WAY-100635 for clinical PET applications. Appl. Rad. Isot. 2009; 67 (1): 73-78.
5. I. Odano, C. Halldin, P. Karlsson, A. Varrone, A. Airaksinen, R.N. Krasikova, L. Farde. [(18)F]Flumazenil binding to central benzodiazepine receptor studies by PET -

- Quantitative analysis and comparisons with [(11)C]flumazenil. *Neuroimage*. 2009, 45: 891-902.
6. Hasler F, Kuznetsova O.F., Krasikova R.N., Cservednyak T, Quednow B.B., Vollenweider F.X., Ametamey SM., Westera G. GMP-compliant radiosynthesis of [¹⁸F]altanserin and human plasma metabolite studies. *Appl. Rad. Isot.* 2009; 67 (4): 598-601.
 7. О.С. Федорова, О.Ф. Кузнецова, С.В. Шатик, М.А. Степанова, Ю.Н. Белоконов, В.И. Малеев, Р.Н. Красикова. Производные тирозина, меченные фтором-18: синтез и экспериментальное исследование накопления в опухоли и абсцессе. *Биоорганическая химия*. 2009; 35: 334-343.
 8. С.В. Медведев, Т.Ю. Скворцова, Р.Н. Красикова, ПЭТ в России: позитронно-эмиссионная томография в клинике и физиологии, Астрель-СПб, С.Петербург, 2008, 319 с.
 9. R.N. Krasikova, O.F. Kuznetsova, O.S. Fedorova, Yu.N. Belokon, V.I. Maleev, L. Mu, S. Ametamey, P.A. Schubiger, M. Friebe, M. Berndt, N. Koglin, A. Mueller, K. Graham, L. Lehmann, L.M. Dinkelborg. 4-[¹⁸F]fluoro glutamic acid (BAY 85-8050) - a new amino acid radiotracer for PET imaging of tumors: Synthesis and in vitro characterization. *J. Med. Chem.* 2011; 54: 406-410.
 10. M. Jahan, S. Nag, R. Krasikova, U. Weber, A. Muhs, A. Pfeifer, C. Spenger, D. Willbold, B. Gulyás, C. Halldin. Fluorine-18 labeling of three novel D-peptides by conjugation with N-succinimidyl-4-[¹⁸F]fluorobenzoate and preliminary examination by postmortem whole-hemisphere human brain autoradiography. *Nucl. Med. Biol.*, 2012; 39: 315-323.
 11. V. Stepanov, R. Krasikova, L. Raus, O. Loog, J. Hiltunen, C. Halldin. An efficient one-step radio synthesis of [¹⁸F]FE-PE2I, the radioligand for PET imaging of dopamine transporters. *J. Label. Compds. Radiopharm.* 2012, 55: 206-210.
 12. R. Krasikova, V. Orlovskaya, M. Stepanova, O. Fedorova. The effect of reaction media and phase transfer catalyst on the fluorination yield and enantiomeric purity in asymmetric synthesis of O-(2'-[¹⁸F]fluoroethyl)-L-tyrosine. *Curr. Org. Chem.* 2013; 17: 2159-2163.
 13. R. Krasikova. PET radiochemistry automation: State of the art and future trends in ¹⁸F-nucleophilic fluorination. *Curr. Org. Chem.*, 2013; 17: 2097-2107.
 14. Г.Е. Кодина, Р.Н. Красикова, Методы получения радиофармацевтических препаратов и радионуклидных генераторов для ядерной медицины. Учебное пособие для вузов, Издательский дом МЭИ, Москва, 2014, 281 с.

15. О. С. Федорова, В. В. Орловская, В. И. Малеев, Ю. Н. Белокоп, Т. Ф. Савельева, Ч. В. Чанг, Ч. Л. Чен, Р. Ш. Лиу, Р. Н. Красикова. Разработка подходов к асимметрическому синтезу меченного фтором-18 аналога L-трео-3,4-дигидроксифенилсерина (6-L-трео-[¹⁸F]FDOPS) - нового радиотрейсера для визуализации транспортеров норэпинефрина методом позитронной эмиссионной томографии. Известия Академии наук, серия химическая. 2014; 5: 1169-1177.
16. O. Fedorova, O. Kuznetsova, M. Stepanova, V. Maleev, Yu. Belokon, H-J. Wester, R. Krasikova. A facile direct nucleophilic synthesis of O-(2-[¹⁸F]fluoroethyl)-L-tyrosine ([¹⁸F]FET) without HPLC purification. J Radioanal Nucl Chem 2014, 301: 505-512; DOI 10.1007/s10967-014-3121-2.

4.6 Исследования в области медицинской химии. Мишень-ориентированные соединения

По различным оценкам рынок лекарственных препаратов в РФ на 70-80% заполнен импортом, а в сегменте лекарств нового поколения объем препаратов не российского происхождения достигает 90-95%. Актуальность импортозамещения в этом направлении очевидна и смещается в область национальной безопасности.

Научной основой создания биологически активных молекул является комплекс химических, физико-химических, биологических, информационных и медицинских технологий, которые объединены общей платформой - рациональное конструирование (*drug design*) лекарств [1, 2]. Известно, что для многих заболеваний нет достаточно эффективных лекарств, причем путь молекулы-кандидата на фармацевтический рынок занимает десятки лет, а создание одного лекарства обходится в несколько миллиардов долларов.

Современная синтетическая органическая химия оперирует базами, содержащими десятки миллионов соединений, которые ежегодно заметно расширяются. Однако проверить биологическую активность каждой молекулы задача технически, а главное, экономически невыполнимая. Поэтому рациональное конструирование лекарств предполагает несколько последовательных этапов. Первичный отбор в этом огромном пространстве химических соединений проводится *in silico*, основываясь на их известных структурных свойствах. Это подразумевает использование таких современных подходов, как молекулярный докинг и молекулярную динамику. Если последний подход позволяет рассчитывать межатомные взаимодействия и описывать эволюцию молекулярных систем во времени, то молекулярный докинг, проводя молекулярное моделирование, дает предсказание оптимального положения лиганда относительно белка-мишени.

Однако прежде чем искать лекарство от какой-либо патологии, необходимо понять молекулярные основы ее развития, изучить причины и установить взаимодействие между какими биополярными (белками, нуклеиновыми кислотами, липидами и пр.) являются ключевыми. Таким образом, необходимо описать развитие заболевания на молекулярном уровне с помощью каскада реакций, что позволяет выявить одну или несколько биомишеней этого заболевания. Наиболее перспективными мишенями являются белки, составляя более 75% всех известных современной науке мишеней. Несмотря на интенсивное развитие исследований в пограничных областях биохимии, молекулярной биологии, фармакологии, органической и биоорганической химии, сейчас установлено всего около 500 мишеней. Активные разработки ведутся по расшифровке более 5000

новых биомолекул, что позволит существенно расширить круг биомишеней, определяющих различные патологии.

Последующие стадии рационального конструирования лекарств, когда из огромных массивов соединений вычлениют молекулы-лидеры, наступают стандартные доклинические стадии *in vitro* и *in vivo*, исследующие такие свойства, как пути поступления в организм, метаболические реакции, токсичность, вывод из организма и т.д. [3, 4]

Таким образом, создание современных лекарственных препаратов это комплексная проблема, для решения которой необходимо тесное сотрудничество специалистов в области молекулярной биологии, органической химии, био- и хемоинформатики, биофизики и биохимии, токсикологии, фармакологии, молекулярной медицины.

В России есть несколько исследовательских центров и ряд лабораторий, успешно работающих в этой области. Это такие институты РАН как ИФАР (Черноголовка), ИОХ им. Зелинского (лаборатория чл.-корр. Нифантьева Н.Э.), ИОХ Уфимского НЦ РАН (акад. Юнусов М.С.), ИОХ СО РАН (лаборатория д.х.н. Салахутдинова Н.Ф.).

Центром негосударственных разработок в области *drug design* является исследовательский институт «Хим РАР» в Химках. Ряд лабораторий успешно функционирует в Санкт-Петербурге - в области биоинформатики - НИУ «ИТМО» и НИУ «Политехнический университет», в области поиска и валидации биомишеней - СПбГТИ (ТУ) (лаборатория молекулярной фармакологии).

Список библиографических источников

1. Hessler G., K.-H. Baringhaus The scaffold hopping potential of pharmacophores // Drug Discovery Today: Technol. 2010, 7(4), 263-269.
2. Mandal S., Moudgil M. Rational drug design // Eur. J. Pharmacol. 2009, 625, 90-100.
3. Bergmann R., Linnsson A. and [Zamora I.](#) SHOP: Scaffold HOPping by GRID-Based Similarity Searches // J. Med. Chem. 50 (11), 2708-2717.
4. М. А. Гуреев, П. Б. Давидович, В. Г. Трибулович, А. В. Гарабаджиу Природные соединения как основа для создания модуляторов активности P53 // Изв.АН. сер.хим. 2014, №9, с.1963-1975.

4.7 Разработка энергосберегающих технологий для создания высокоэффективных устройств современной энергетики

Анализ состояния и перспективных направлений развития химии и технологии неорганических материалов, связанных с разработкой энергосберегающих технологий для создания высокоэффективных устройств современной энергетики.

Развитие химии и технологии материалов для биотопливных элементов носят ярко выраженный междисциплинарный характер, что лежит в основе конвергенции нано-, био- и когнитивных технологий.

К основным перспективным направлениям можно отнести следующие:

Разработка методов направленного синтеза веществ и материалов с заданными для электрохимических ячеек различных типов физико-химическими и электрофизическими свойствами [1-8].

Основные направления работ для конструктивных составляющих твердополимерных топливных элементов (ТПТЭ) и твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) [8-13,17].

По направлению ТПТЭ:

- Ионопроводящие мембраны с электропроводностью 10^{-2} - 10^{-1} См/см, низкой газопроницаемостью $<10^{-2}$ мл/мин \cdot см², температурной устойчивостью вплоть до 230 °С и требуемой механической прочностью [8,13- 16].

- Каталитические слои с уменьшенным на порядок содержанием платины в кремнеземной матрице, что позволит увеличить удельную мощность ТЭ, сохраняя необходимую электронно-ионную электропроводность [8,10-13].

- Электродные слои без платины на основе металлооксидных композиций и соединений переходных элементов способны проявлять высокую каталитическую активность с сохранением каталитических свойств при многократном циклировании [11, 18-21].

По направлению разработки ТОТЭ:

- разработка нанокерамических порошков на основе твердых растворов оксидов Се, Ва, Sr, Y, Yb, Sm, Gd с развитой удельной площадью поверхности порядка 120 м²/г, что обеспечит предел прочности при изгибе получаемых керамических материалов не менее 400 МПа, удельную электропроводность на уровне $\sigma = 10^{-3}$ - 10^{-1} См/см в широком температурном диапазоне от 200-800 °С, методами жидкофазного синтеза [9,17].

4.7.1 Научные проблемы разработки микробных топливных элементов (МТЭ)

а) Механизм передачи электрона электронногенными бактериями на анод.

- МТЭ могут быть медиаторные, где молекулы-акцепторы электронов передают их с микробиологической клетки на анод [22-25].

- Безмедиаторные МТЭ, где электроны напрямую переходят с бактерии на анод. Например, считается, что *Geobacter sulfurreducens* имеет внешние цитохромы, которые могут работать как нанопровода, транспортирующие электроны на любую внешнюю поверхность (д.х.н. С.В. Калужный, 2007г.).

б) Модификация поверхности электродов для увеличения: электронной проводимости между бактериальной клеткой и электродом, площади поверхности электрода, химической инертности нанокompозита.

в) Подбор условий для катализа метанотрофными бактериями как аэробных, так и анаэробных условиях. На сегодняшний момент времени известно, что в аэробных условиях требуется дозированное число молекул кислорода, однако полный цикл механизма катализа до конца не известен [25-27]. Таким образом, для решения фундаментальной проблемы – исследования механизма генерации и пути трансляции биотока метанотрофными бактериями необходимо разностороннее научное исследование в области биокатализа, синтеза и исследования электрохимических свойств нанокompозитных материалов для электродов МТЭ.

Список библиографических источников

1. Шевченко В.Я., Данилевич Я.Б., Гусаров В.В. Физико-химические основы технологии неорганических и композитных материалов водородной энергетики // Энергетика России: Проблемы и перспективы: Тр. Науч. Сес. РАН. М., 2006. С. 464–466.
2. Шевченко В.Я. Институт химии силикатов РАН. Исследования в области наномира и нанотехнологий. //Российские нанотехнологии. Том 3, № 11-12. 2008.- С.36-45.
3. Шудегов В.Е., Шевченко В.Я. Дальнейшее развитее наноиндустрии в Российской Федерации. // НАНО. Технологии. Экология. Производство. №1 2009.-С.16-23.
4. Чеченов Х.Д., Данилевич Я.Б., Кручинина И.Ю. Инновации в энергетике.// 2009. №2. С. 46-51.
5. Данилевич Я.Б., Гусаров В.В., Кручинина И.Ю. Новые материалы – новые возможности для энергетики //Сб. научно-популярных статей – победителей конкурса РФФИ 2006 года. Вып. 10. М., Октопус Природа, 2007.- С.468-475.

6. Данилевич Я.Б., И.Ю. Кручинина. Наноструктурированные материалы для хранения и преобразования электрической энергии //Материалы Второго Международного форума по нанотехнологиям. – М.: 2009. – С.495-497.
7. Данилевич Я.Б., Антипов В.Н., Кручинина И.Ю., Хозиков Ю.Ф., Иванова А.В., Миронов Б.Н. Автономная интегрированная ветроэнергоустановка с использованием наноструктурированных материалов для хранения и преобразования электрической энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2009. №4. С. 81-89.
8. Данилевич Я.Б., Жабрев В.А., Гончаров В.Д., Кручинина И.Ю., Миронов Б.Н., Цветкова И.Н., Хамова Т.В., Шилова О.А. Разработка технологии получения и хранения водорода с использованием наноструктурированных материалов // Физика и химия стекла. 2009. Т. 35. №5. С. 650-664.
9. Шилова О.А., Антипов В.Н., Тихонов П.А., Кручинина И.Ю., Арсентьев М.Ю., Панова Т.И., Морозова Л.В., Московская В.В., Калинина М.В. Керамические нанокompозиты на основе оксидов переходных металлов и фосфоросиликатные наноматериалы для ионисторов // Физика и химия стекла. 2013. Т. 39. № 5. С. 803-815.
10. Данилевич Я.Б., Антипов В.Н., Кручинина И.Ю. Новые материалы для децентрализованной энергетике // Известия академии электротехнических наук. 2011. №1. С. 3-13.
11. Мошников В.А., Шилова О.А. Золь-гель нанокompозиты – перспективные материалы для мембран и каталитических слоев топливных элементов. / Основы водородной энергетике / под ред. В.А. Мошникова и Е. И. Терукова, 2-е изд. СПб.: изд-во «ЛЭТИ», 2011, с. 183-211.
12. Shilova O.A. Synthesis and structure features of composite silicate and hybrid TEOS-derived thin films doped by inorganic and organic additives // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2013. V. 68, N 3. P. 387-410. – Doi: 10.1007/s10971-013-3026-5.
13. Шилова О.А., Кручинина И.Ю., Иванова А.Г., Загребельный О.А., Хамова Т.В., Цветкова И.Н. Разработка и исследование электротехнических свойств водородно-воздушных топливных элементов //Сетевой журнал «Транспортные системы и технологии» - 2014. Вып. 2. – <http://www.transssyst.ru/vypusk-2-2014.html>.
14. Шилова О.А., Цветкова И.Н. Патент РФ на изобретение №2505481 Способ получения силикофосфатного протонпроводящего материала, преимущественно для мембран топливных элементов (варианты). Заявка № 2011118350, приоритет от 28 апреля 2011г, зарегистрирован 27 января 2014г.

15. Цветкова И.Н., Шилова О.А., Воронков М.Г., Гомза Ю.П., Сухой К.М. Золь-гель синтез и исследование гибридного силикофосфатного протонпроводящего материала // Физ. И хим. стекла. 2008. Т. 34. № 1. С. 88-98.
16. Shilov V. V., Gomza Yu. P., Shilova O. A., Padalko V. I., Efimova L. N., Nesin S. D. The fine and fractal structure and protonic conductivity of phosphosilicate-diamond sol-gel nanocomposites / Synthesis, Properties and Applications of Ultrananocrystalline Diamond. Ed. By D.M. Gruen, O.A. Shenderova and A.Ya. Vul' // Nato Science Series: II. Mathematic, Physics and Chemistry. Vol. 192. Springer: 2005. P. 299-310.
17. Шишкин В.А., Кручинина И.Ю., Шурпjak В.К. Перспективы применения топливных элементов при перевозках СПГ// Научн.-техн. Сб. Российского морского регистра судоходства. Вып. 37. 2014. С. 45-50.
18. Нечитайлов А.А., Астрова Е.В., Горячев Д.Н., Звонарева Т.К., Иванов-Омский В.И., Ременюк А.Д., Сапурина И.Ю., Сресели О.М., Толмачев В.А. Каталитические слои для топливных элементов на основе полианилина и композитных слоев α -C-Pt, полученных магнетронным распылением // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. № 13. С. 9-13.
19. Горячев Д.Н., Ельцина О.С., Звонарева Т.К., Иванов-Омский В.И., Николаев Ю.А., Сресели О.М., Теруков Е.И., Нечитайлов А.А. Каталитические слои на основе нанокompозита α -C-Pt, полученные методом магнетронного сораспыления //Альтернативная энергетика и экология (International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAEЕ). 2007. Т. 46. № 2. С. 126-127.
20. Шилова О.А., Шилов В.В., Кошель Н.Д., Козлова Е.В. Формирование каталитических слоев из зольей на основе тетраэтоксисилана и использование их в полимерных топливных элементах // Физика и химия стекла. 2004. Т. 30. № 1. С. 98-100.
21. Патент РФ № №2358359. Способ получения каталитического слоя топливного элемента /Нечитайлов А.А., Хамова Т.В., Шилова О.А., Звонарева и др./ Приор. 26.12.2007. –Опубликовано: 10.06.2009. Бюл. № 16.
22. Widdel F, Musat F, Knittel K, Galushko A. (2007) Anaerobic degradation of hydrocarbons with sulphate as electron acceptor. In: Sulphate–Reducing Bacteria: Environmental and Engineered Systems (Eds, L.L. Barton, and W.A. Hamilton), Chapter 9. Cambridge University Press, 265–303.
23. Fedorovich V, Knighton MC, Pagaling E, Ward FB, Free A, Goryanin I (2009) Novel electrochemically active bacterium phylogenetically related to *Arcobacter butzleri*, isolated from a microbial fuel cell //Appl Environ Microbiol 75: 7326-7334.

24. Kim D, Chang IS (2009) Electricity generation from synthesis gas by microbial processes: CO fermentation and microbial fuel cell technology. //Bioresource Technology. 100: 4527–4530.
25. Liu H, Logan BE (2004) Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane //Environ. Sci. Technol. 38: 4040-4046.
26. Kanash, E.V., Panova, G.G. and Blokhina, S.Y.U. 2013. Optical criteria for assessment of efficiency and adaptogenic characteristics of biologically active preparations. //Acta Hort. (ISHS) 1009:37-44, http://www.actahort.org/books/1009/1009_2.htm
27. A.G. Ivanova (A. G. Panova), M. V. Puzyk, O. A. Farus, K. P. Balashev Optical, electrochemical, and ¹H NMR characteristics of Mono-, Bi-, and tetranuclear cyclopalladated complexes with 4,4'-bipyridyl //Optics and Spectroscopy March 2011, Volume 110, Issue 3, pp 379-384. DOI: 10.1134/S0030400X11030179.

4.8 Анализ тенденций развития фундаментальных исследований в области полимерной органической химии

Изменения, которые произошли в этом году в международной и экономической ситуации, заставили пересмотреть приоритеты научно-технической политики России и поставили новые задачи в развитии основных направлений фундаментальных исследований и их практического использования в качестве новых технологий. В частности, Отделение химии и наук о материалах Российской академии наук выдвинуло ряд программ, включающих разработку научных основ экологически безопасных и ресурсосберегающих химико-технологических процессов, а также новых материалов, востребованных промышленностью, и ориентированных на решение задач приоритетных направлений развития науки, технологии и техники РФ.

Особое внимание в этих программах уделено следующим направлениям:

- получение новых химических продуктов и материалов, в том числе важнейших
- нефтехимических продуктов на основе нефтяного и не нефтяного сырья;
- современные технологии глубокой переработки углеводородов;
- технологии получения полимерных материалов с новым комплексом свойств и
- полимерных материалов, модифицированных введением функциональных добавок:
- получение и применение наноматериалов и неорганических функциональных
- материалов;
- полифункциональные вещества и материалы для молекулярной электроники;
- технологии переработки биомассы и антропогенных отходов.

Актуальность этих программ состоит не только в том, что технический прогресс невозможен без новых материалов, но и в том, что потребности мирового рынка в традиционных полимерах, таких как полиэтилен и полипропилен растут год от года, причем требуются специальные марки этих химических продуктов, которые в России в настоящий момент не выпускаются. В то же время в институтах РАН есть все технологии, в том числе и технологии производства продуктов тонкой химии и специальных марок нефтехимических продуктов и полимеров, в том числе еще дефицитного поливинилхлорида, а также технологии глубокой переработки углеводородов. Как сказал директор Института нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН академик С.Н. Хаджиев: «Мне лично не известны химические или нефтехимические проблемы, которые бы наша наука не могла решить».

Развитие фундаментальных исследований в области полимерной органической химии и разработки новых полифункциональных материалов может быть представлено

следующими основными направлениями, в которых интенсивно ведутся работы в институтах РАН в Санкт-Петербурге:

1) Одним из наиболее важных направлений в области органической химии является разработка новых биосовместимых и биodeградируемых материалов на основе природных полимеров, т.к. они позволяют не только решить насущные проблемы трансплантологии и тканевой инженерии, но и могут быть утилизированы экологически безопасными методами [1- 8].

2) Решение задач в области разработки новых лекарственных препаратов и, в частности, препаратов для борьбы с инфекциями, сердечно-сосудистыми заболеваниями, противоопухолевых препаратов с улучшенными терапевтическими свойствами, антибиотиков и антисептиков нового поколения лежит, главным образом, в области органического синтеза и химии высокомолекулярных соединений с привлечением современных методов нанотехнологии. Оно включает в себя получение новых медицинских препаратов и разработку методов их анализа [9- 15].

3) Перспективным направлением фундаментальных исследований в настоящее время является химическая или структурная модификация широко распространенных полимеров (таких как полиэтилен, полипропилен, полиэферы, полиамиды и др.) с целью придания им новых функциональных свойств. Особый интерес представляет получение «дистанционно-контролируемых» (remote controlled) систем, пористых и гидрогелевых структур как основы для новых многокомпонентных композиционных материалов, таких как мембраны для использования в водородных топливных элементах, сенсоры различного назначения и гидрогели в качестве компонентов «управляемых» систем для робототехники и материалов для нефтедобывающей промышленности [16-20].

4) Электропроводящие полимеры в последние годы привлекают интерес исследователей благодаря широким возможностям их применения в электронике, оптике, устройствах превращения и сохранения энергии, а также в качестве химических сенсоров, энергонезависимых устройств памяти, подложек для катализаторов, суперконденсаторов. Однако, вследствие их низкой способности к переработке традиционными методами, перспективы получения материалов из этих полимеров связаны с разработкой композиционных систем с использованием упрочняющих подложек (матриц). Актуальность разработок композиционных материалов на основе проводящих полимеров связана с перспективами их применения в качестве материалов, поглощающих излучение в радио- и инфракрасном волновых диапазонах. Они могут служить эффективными многофункциональными широкодиапазонными радиоэкранирующими и

радиопоглощающими пассивными средствами защиты информации и устройств электронной техники [21 - 25].

Композиционные материалы на основе природных, биodeградируемых полимеров (хитина и хитозана, обладающих низкой пленкообразующей способностью) могут эффективно использоваться в качестве антимикробных покрытий, мембран для разделения жидких смесей и сорбционного материала, в частности, для очистки жидких сред от ионов тяжелых металлов, а также для разделения агрессивных коррозионных жидкостей методом первапорации [26- 27].

С точки зрения газоразделения эффективными материалами являются термостойкие гетероцепные полимеры - полиимиды, в особенности при модифицировании их различными методами и получении композитов. Введение высокодисперсного углеродного наполнителя в полиимидную матрицу может способствовать решению ряда фундаментальных и практических задач, таких как повышение производительности *композиционного полиимидного мембранного материала* и повышение его сорбционных свойств при сохранении высокой селективности матрицы [28-29].

В связи с необходимостью решения проблемы энергосбережения особое внимание привлекают исследования по разработке светодиодов, в частности, *органических эмиссионных материалов*, преимущества которых составляют низкая стоимость производства и минимальное энергопотребление. Для светоизлучающих устройств используются сопряженные полимеры (в частности, полифлуорены) и полиимиды с нелинейно-оптическими и фоточувствительными свойствами. Материалы на их основе представляют интерес для оптоэлектроники, фотоники, фотовольтаики, сенсорных устройствах, а также для записи, хранения и передачи информации [30-32].

5) По заказу Министерства образования и науки РФ журнал «Российские нанотехнологии» провел исследования публикационной и патентной активности, а также эффективности по цитированию научных организацией, занимающихся исследованиями в области нанотехнологий (всего 1400 организаций). По суммарному рейтингу в число 50 лучших из них вошли 10 институтов РАН в Санкт-Петербурге и 2 из этой десятки вошли в тройку лидеров. Этот результат свидетельствует о том, что научные организации Санкт-Петербурга имеют высокий уровень исследований в одной из наиболее перспективных областей науки, включающей в себя физику, химию, технические и технологические разработки.

Список библиографических источников

1. Siddiqui R, Siddiqui R, Abraham J, Butany J.// *Histopathology*// 2009. V. 55 P. 135-138.
2. Wei D, Ye Y, Jia X, Yuan C, Qian W, Carbohydr. Res.// 2010. V. 345. P. 74–81.
3. Bhattarai N., [Edmondson D.](#), [Veiseh O.](#), [Matsen F.A.](#), [Zhang M.](#)//[Biomaterials](#), 2005. V. 26. № 3. P. 6176.
4. Хитин и хитозан, получение, свойства, применение/Под ред. К.Г. Скрыбина. М.: Наука. 2002.
5. [Schiffman J.D.](#), [Schauer C.L.](#)//[Polymer Reviews](#)// 2008. V. 48. P. 317-320.
6. Лютова И.Г., Анучина Н.М., Бакулева Н.П., Костава В.Т., Чашин И.С. Антимикробные свойства биопротезов с покрытиями наноструктурированным низкомолекулярным хитозаном // Бюллетень НЦССХ имени А. Н. Бакулева РАМН «Сердечно-сосудистые заболевания». 2013. Т.14(1),С. 52-57;
7. Добровольская И.П., Попрядухин П.В., Юдин В.Е., Смирнова Н.В., Вилесов А.Д. Биосовместимый биodeградируемый пористый композиционный материал и способ его получения. Патент на изобретение 2471824 26.07.2011.
8. Буянов А.Л., Гофман И.В., Хрипунов А.К., Ткаченко А.А., Ушакова Е.Э.
9. Высокопрочные биосовместимые гидрогели на основе полиакриламида и целлюлозы: синтез, механические свойства и перспективы применения в качестве искусственных заменителей хрящевых тканей. Высокомолек. соедин.// 2013. Т.55. № 5. С. 512-522
10. Avignon L., Pollet E. In: *Handbook of Biopolymer-Based Materials*. Weinheim: Wiley–VCH Verlag, 2013. Ch. 7.
11. Бычкова А.В., Сорокина О.Н., Розенфельд М.А., Коварский А.Л. // *Успехи химии*. 2012. Т. 81. № 11. С. 1026–1050.
12. Новожилов К.В., Тютюрев С.Л., Якубчик М.С., Тарлаковский С.А., Коломиец А.Ф., Панарин Е.Ф., Исмаилов Э.Я., Гамза-Заде А.И., Исмаилов В.Я., Бегунов И.И. [Композиция на основе водных растворов хитозана, обладающая биологической активностью.](#)
Патент на изобретение RUS 2127056
13. [Жоголев К.Д.](#), [Никитин В.Ю.](#), [Цыган В.Н.](#) Препараты на основе хитина и хитозана в медицине и рациональном питании. *Мед. Иммунология*// 2001. Т. 3(2): С. 316-317.

14. [Howling G.I.](#), [Dettmar P.W.](#), [Goddard P.A.](#) et al. The effect of chitin and chitosan on the proliferation of human skin fibroblasts and keratinocytes in vitro. *Biomater.*// 2001. V. 22. P. 2959-2966.
15. Vlakh E.G., Panarin E.F., Tennikova T.B., Suck K., Kasper C. Development of multifunctional polymer-mineral composite materials for bone tissue engineering. [Journal of Biomedical Materials Research - Part A](#). 2005. V. 75. № 2. P. 333-341.
16. F. Svec, T. B. Tennikova, Z. Deyl (Eds.), *Monolithic materials: preparation, properties and applications*, Elsevier, Amsterdam, 2003, pp. 750.
17. Crank J. *The Mathematics of Diffusion*, 2nd Ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.P.51.
18. Bleha M., Tiscenko G., Mizutani Y., Ohmura N. *Progress in Ion Exchange. Advances and Applications.*/ Ed. by A.Dyer, M.J.Hudson and P.A.Williams. Cambridge: 1997. P.211-223.
19. Suri K., Annapoorni S., Sarkar A.K., Tandon R.P. *Sensors & Actuators*// 2002. V. 81. P. 277-282.
20. Tiscenko G.; Rosova E.; Elyashevich G.; Bleha M.; *Chem.Engineer.Jour.*// 2000. V. 79. P. 211-217.
21. Варшавский И.Л. Энергоаккумулирующие вещества и некоторые принципы их использования для транспорта, энергетики и промышленности. М.: Наука,1970. 51 с.
22. Scotheim T.J., Reynolds J.R./ *Handbook of Conducting Polymers*. 3d Ed. New York: Marcel Dekker, 2007. V.2.
23. Chandrasekar P. *Conducting Polymers, Fundamentals and Applications*. Boston, MA: Kluwer, Academic Publishers, 1999.
24. Han G. Shi G. Porous polypyrrole/polymethylmethacrylate composite film prepared by vapor deposition polymerization of pyrrole and its application for ammonia detection. *Thin Solid Film*// 2007. V. 515. P. 6986-6992.
25. Wu Y., Alici G., Sprinks G.M., Wallace G.G. Fast trilayer polypyrrole bending actuators for high speed applications. *Synth. Met.*// 2006. V. 156. P. 1017- 1021.
26. Elyashevich G.K., Smirnov M.A., Kuryndin I.S., Nikitin L.N., Bukalov S.S., Khokhlov A.R. Conducting composite systems prepared via polypyrrole synthesis on microporous polyethylene films. "Chemistry as Music" (Ed.by G.E. Zaikov, Nova Science Publ., New York, ISBN 1-60021), 2007. Iss.12. Chap.2. p 17-37.
27. X.Feng, R.Huang. Pervaporation with chitosan membranes. Separation of water from ethylene glycol by chitosan/polysulphon composite membranes. // *J.Membr.Sci.* 1996. V.116. P.51-59.

28. B. Krajewska. Membrane-based processes performed with use of chitosan/chitin materials. *Sep.Purif.Technology.*//2005. V.41. P.305-312.
29. Petersen J., Matsuda M., Haraya K. Capillary carbon molecular sieve membranes derived from kapton for high temperature gas separation // *J. Membr.Sci.* 1997. V. 131. P. 85-94.
30. Лазарева Ю. Н., Видякин М. Н., Ямпольский Ю. П. и др. Связь химической структуры транспортных свойств полиимидов и сополиимидов на основе жесткого и гибкого диангдридов // *Высокомолек. соед.*// 2006. Сер. А. Т. 48. №10. С.1818-1825. *Polyfluorenes* / ed. by U. Scherf, D Neher. Berlin:Springer, 2008.
31. Курдукова И.В., Ищенко А.А. // *Успехи химии.* 2012. Т. 81. № 3. С. 258.
32. Кештов М.Л., Мальцев Е.И., Марочкин Д.В., Кочуров В.С., Кочуров В.С., Перевалов В.П., Хохлов А.Р.//*Высокомол.соедин.* Т. 53. № 11-12. С.634-638.

4.9 Анализ публикационной активности научных организаций Санкт-Петербурга в области химических наук

Как известно, оценка научного потенциала страны, региона или научной организации может быть сделана на основе анализа баз данных содержащих научные публикации. В настоящее время такими базами являются, в основном, Scopus, Web of Science (WoS) и Российский Индекс Научного Цитирования (РИНЦ). Их предварительная сравнительная оценка показала, что при решении поставленной задачи оценки научного потенциала СПб наиболее адекватные результаты могут быть получены при работе с базами данных Scopus и РИНЦ, поскольку в базе WoS представлено только 102 российских журнала, в то время как в Scopus 235 и в РИНЦ - 2514. Кроме того, в базе РИНЦ также содержатся данные не только о статьях и трудах конференций, но и диссертациях российских ученых, главах в монографиях и т.д. Поэтому в дальнейшем мы проводили анализ публикационной активности только по последним 2-м базам.

Важным моментом при работе с этими базами данных являлось определение самого термина “химические науки”. В базе Scopus к таким наукам можно отнести собственно Chemistry, Material Science, Chemical Engineering и Biochemistry, Molecular genetics and Biology. Однако при такой классификации биохимия оказывается объединенной с генетикой и биологией, а в разделе Material Science будут содержаться работы, посвященные не только химии материалов, но и физике и механике. В этой связи, учет опубликованных работ в этих областях, очевидно, приведет к существенному искажению показателей в области “химических” наук. Особенно это относится к разделу Biochemistry, Molecular Genetics and Biology и в этой связи в дальнейшем мы его не использовали при анализе публикационной активности в области химических наук. Но раздел Material Science был включен в рассмотрение, поскольку по нашим предварительным данным доля работ посвященных рассмотрению различных химических проблем в этой области существенно выше.

Что касается базы РИНЦ, то при анализе числа публикаций в области химических наук следует учитывать, что публикации в данной области представлены в разделах “Химия” и “Химическая технология. Химическая промышленность” и, по нашему мнению, при оценке публикационной активности различных организаций СПб следует проводить анализ именно с учетом этих 2-х подразделов. Кроме того, в базе данных РИНЦ существует специальный раздел, посвященный публикациям в области нанотехнологий, который содержит информацию и о публикациях в области химических

основ нанотехнологий и это дало возможность оценить публикационную активность в данной области.

Далее приведем статистические данные о количестве опубликованных в области химических наук статей, полученные на основе анализа базы Scopus (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Суммарное количество статей, опубликованных авторами из России в области химических наук

| Тема | 1995-2013 гг. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. |
|----------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Химия | 148852 | 6835 | 6840 | 7329 | 6864 | 7228 |
| Наука о материалах | 134207 | 6945 | 6848 | 7803 | 8055 | 8052 |
| Инженерно-химические науки | 48310 | 2307 | 2328 | 2440 | 2215 | 2267 |

Прежде всего, из анализа приведенных за последние 5 лет данных следует (таблица 4.1), что число ежегодно публикуемых авторами из России статей находится на стабильном уровне и даже имеет тенденцию к повышению по отношению к числу работ, опубликованных в 2009 году. Подобная ситуация наблюдается и для числа статей, опубликованных в Санкт-Петербурге (табл. 4.2). Так в городе публикуется примерно 10 % статей в области химии, 15 % в области науки о материалах и 10 % статей в области инженерно-химических наук по отношению к числу опубликованных в России. Данные результаты указывают на высокий научный потенциал Санкт-Петербурга и подчеркивают его высокий вклад в российскую науку. Особенно это относится к работам в области науки о материалах.

Важные результаты могут быть получены и при анализе базы данных Scopus в разделах, посвященных публикационной активности различных организаций в области химии (таблица 4.3), науки о материалах (таблица 4.4) и инженерно-химических наук (таблица 4.5), причем в таблицы были включены только первые 10-14 организаций, имеющих наиболее высокие показатели. Среди таких организаций в базе данных Scopus указана РАН (российская академия наук), но приведенные для нее статистические данные, по-видимому, соответствуют суммарному количеству статей, выполненных в институтах РАН, для которых в таблицах также содержится информация.

Таблица 4.2 – Суммарное количество статей, опубликованных авторами из Санкт-Петербурга в области химических наук и их процентная доля по отношению к числу работ в России

| Тема | 1995-2013 гг. | | 2009 г. | | 2010 г. | | 2011 г. | | 2012 г. | | 2013 г. | |
|-------------------|---------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | колич. | % | колич. | % | колич. | % | колич. | % | колич. | % | колич. | % |
| Химия | 14043 | 9,43 | 703 | 10,29 | 720 | 10,53 | 726 | 9,91 | 699 | 10,18 | 706 | 9,77 |
| Наука о материал. | 19209 | 14,32 | 1154 | 16,62 | 1105 | 16,14 | 1150 | 14,73 | 1072 | 13,31 | 1299 | 16,13 |
| Инжен.-хим. науки | 3535 | 7,31 | 235 | 10,19 | 258 | 11,08 | 282 | 11,56 | 282 | 12,73 | 205 | 9,04 |

Таблица 4.3 – Количество статей, опубликованных по данным Scopus ведущими организациями Санкт-Петербурга в области химии

| | Название организации | 1995-2003 гг. | 2003 г. | 2009 г. | 2011 г. | 2013 г. |
|----|-----------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | СПбГУ | 5577 | 234 | 256 | 259 | 315 |
| 2 | РАН | 1515 | 72 | 79 | 107 | 100 |
| 3 | СПбГПУ | 1272 | 78 | 43 | 54 | 52 |
| 4 | СПбТИ(ТУ) | 1194 | 43 | 50 | 63 | 59 |
| 5 | ИВС | 1022 | 52 | 89 | 79 | 77 |
| 6 | СПбГПУ им. А.И.Герцена | 447 | 38 | 26 | 20 | 26 |
| 7 | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | 415 | 13 | 25 | 26 | 30 |
| 8 | ИХС им. И.В.Гребенщикова | 351 | 14 | 15 | 17 | 22 |
| 9 | Радиевый институт им. В.Г.Хлопина | 269 | 27 | 27 | 19 | 15 |
| 10 | СПбГУТид | | | 13 | 9 | 15 |

Таблица 4.4 – Количество статей, опубликованных по данным Scopus ведущими организациями Санкт-Петербурга в области науки о материалах

| | Название организации | 1995-2003 гг. | 2003 г. | 2009 г. | 2011 г. | 2013 г. |
|----|---------------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | РАН | 6632 | 362 | 392 | 388 | 381 |
| 2 | СПбГУ | 2848 | 103 | 202 | 211 | 292 |
| 3 | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | 2529 | 144 | 141 | 96 | 112 |
| 4 | СПбГПУ | 1968 | 109 | 110 | 99 | 127 |
| 5 | ИВС | 1533 | 71 | 74 | 72 | 71 |
| 6 | ИХС им. И.В.Гребенщикова | 773 | 68 | 59 | 39 | 43 |
| 7 | СПбГУИТМО | 711 | 8 | 60 | 85 | 154 |
| 8 | ГОИ им. С.И.Вавилова | 569 | 42 | 27 | 25 | 30 |
| 9 | СПбГЭТУ | 506 | 18 | 39 | 31 | 52 |
| 10 | Институт ядерной физики РАН | 501 | 20 | 29 | 40 | 20 |
| 11 | Институт проблем машиноведения РАН | 415 | 30 | 30 | 40 | 22 |
| 12 | СПбТИ(ТУ) | 341 | 10 | 12 | 25 | 23 |
| 13 | СПбГУТид | 213 | 20 | 11 | 8 | |
| 14 | СПбГПУ им. А.И.Герцена | 197 | | 20 | 19 | 20 |

Таблица 5 – Количество статей, опубликованных по данным Scopus ведущими организациями Санкт-Петербурга в области инженерно-химической науки

| | Название организации | 1995-2003 гг. | 2003 г. | 2009 г. | 2011 г. | 2013 г. |
|----|-----------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | СПбГУ | 1002 | 39 | 58 | 54 | 59 |
| 2 | СПбГПУ | 392 | 23 | 27 | 39 | 15 |
| 3 | РАН | 307 | 12 | 18 | 30 | 28 |
| 4 | ИВС | 259 | 3 | 34 | 38 | 26 |
| 5 | СПбТИ(ТУ) | 214 | 2 | 22 | 32 | 28 |
| 6 | СПбГУТид | 86 | | 22 | 3 | 6 |
| 7 | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | 83 | | 7 | 8 | 5 |
| 8 | ГИПХ | 83 | 1 | 16 | 3 | |
| 9 | СПбТУРП | 45 | | 5 | 3 | |
| 10 | ИТМО | 43 | | | 6 | 8 |
| 11 | ИХС им. И.В.Гребенщикова | 43 | 3 | 4 | 6 | |
| 12 | СПбГПУ им. А.И.Герцена | 26 | | 5 | | 53 |

При сравнении показанных в данных таблицах результатов обращает на себя внимание, что в каждой из областей науки имеются определенные лидеры по публикационной активности. Например, в области химии к ним относятся СПбГУ, СПбГПУ, СПбТИ(ТУ) и ИВС. Причем в СПбГУ выполнена практически половина всех опубликованных в Санкт-Петербурге статей.

В области наук о материалах такими лидерами являются СПбГУ, СПбГПУ, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ИВС и ИХС им. И.В.Гребенщикова. Следует также отметить постоянно повышающееся количество статей, выполненных с СПбГУИТМО, которое возросло от 69 в 2009 году до 154 в 2013.

В области инженерно-химических наук наибольшее число статей опубликовано СПбГУ, СПбГПУ, ИВС и СПбТИ(ТУ), но это количество более чем на порядок меньше суммарного количества статей в области химии и науки о материалах, что, безусловно, отражает специфику данной прикладной области и ее ориентацию на достижение практически значимых технологических результатов.

Похожие результаты были получены и при анализе базы данных РИНЦ (табл. 4.6 и 4.7). Фактически приведенные в них данные подтверждают доминирующую роль отмеченных выше организаций, которые в течение последних 5 лет показывают стабильные относительно высокие результаты. С другой стороны, приведенные данные указывают на снижение публикационной активности в области химии в таких организациях как ИВС РАН, который в 2013 году опубликовал только 97 статей по сравнению со 164 в 2009 году, НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина – соответственно 81 и 29 статей и РНЦ Прикладная химия – 15 и 9 статей.

Таблица 4.6 – Количество статей, опубликованных по данным РИНЦ ведущими организациями Санкт-Петербурга в области химии

| | Название организации | Сумм. колич. публ. | 2003 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013г. |
|----|--|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | СПбГУ | 6311 | 386 | 428 | 438 | 417 | 402 | 307 |
| 2 | СПбГПУ | 805 | 24 | 41 | 52 | 52 | 33 | 51 |
| 3 | СПбТИ(ТУ) | 2465 | 149 | 116 | 133 | 142 | 140 | 103 |
| 4 | ИВС РАН | 2863 | 179 | 164 | 151 | 151 | 116 | 97 |
| 5 | СПбГПУ им. Герцена | 879 | 65 | 52 | 53 | 60 | 62 | 65 |
| 6 | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | 1516 | 77 | 84 | 60 | 76 | 77 | 52 |
| 7 | ИХС РАН им. Гребенщикова | 850 | 34 | 64 | 59 | 55 | 46 | 30 |
| 8 | НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина | 395 | 68 | 81 | 62 | 59 | 65 | 29 |
| 9 | СПбГУТид | 210 | 6 | 16 | 31 | 18 | 27 | 21 |
| 10 | СПбГЭТУ (ЛЭТИ) им. В.И.Ульянова | 145 | 2 | 12 | 10 | 21 | 18 | 27 |
| 11 | СПбТУРП | 179 | 3 | 6 | 11 | 21 | 15 | 10 |
| 12 | СПбНИУ ИТМО | 176 | 15 | 8 | 11 | 24 | 22 | 34 |
| 13 | СПбГХ-ФА | 464 | 16 | 13 | 14 | 16 | 23 | 20 |
| 14 | РНЦ Прикладная химия | 229 | 9 | 15 | 10 | 4 | 0 | 9 |

Таблица 7 – Количество статей, опубликованных по данным РИНЦ ведущими организациями Санкт-Петербурга в области химических технологий

| | Название организации | Сумм. колич. публ. | 2003 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. |
|----|--|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | СПбГУ | 507 | 22 | 22 | 32 | 31 | 40 | 30 |
| 2 | СПбГПУ | 244 | 3 | 8 | 16 | 10 | 16 | 27 |
| 3 | СПбТИ(ТУ) | 1109 | 38 | 68 | 87 | 104 | 84 | 70 |
| 4 | ИВС РАН | 299 | 15 | 12 | 13 | 22 | 23 | 14 |
| 5 | СПбГПУ им. Герцена | 103 | 5 | 7 | 6 | 8 | 7 | 7 |
| 6 | ФТИ им. А.Ф. Иоффе | 217 | 11 | 9 | 4 | 17 | 15 | 14 |
| 7 | ИХС РАН им. И.В.Гребенщикова | 784 | 56 | 48 | 35 | 32 | 36 | 28 |
| 8 | НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина | 16 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | СПбГУТид | 257 | 4 | 15 | 11 | 9 | 11 | 14 |
| 10 | СПбГЭТУ (ЛЭТИ) им. В.И.Ульянова | 102 | 5 | 7 | 1 | 12 | 15 | 7 |
| 11 | СПбТУРП | 28 | 1 | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| 12 | СПбНИУ ИТМО | 67 | 3 | 2 | 3 | 5 | 15 | 14 |
| 13 | СПбГХ-ФА | 149 | 0 | 9 | 12 | 11 | 7 | 5 |
| 14 | РНЦ Прикладная химия | 62 | 3 | 6 | 2 | 7 | 8 | 3 |

В области химических технологий обращают на себя внимание возросшие показатели СПбГПУ (табл. 4.7), опубликовавшего в 2013 году 27 статей по сравнению с 8 в 2009.

Как уже отмечалось, база данных РИНЦ содержит специальный раздел, посвященный публикационной активности различных регионов и организаций в области нанотехнологий. Полученные с использованием этого раздела результаты показаны на рис. 4.1 и 4.2 и указывают на сравнительно высокий уровень публикационной активности организаций Санкт-Петербурга.

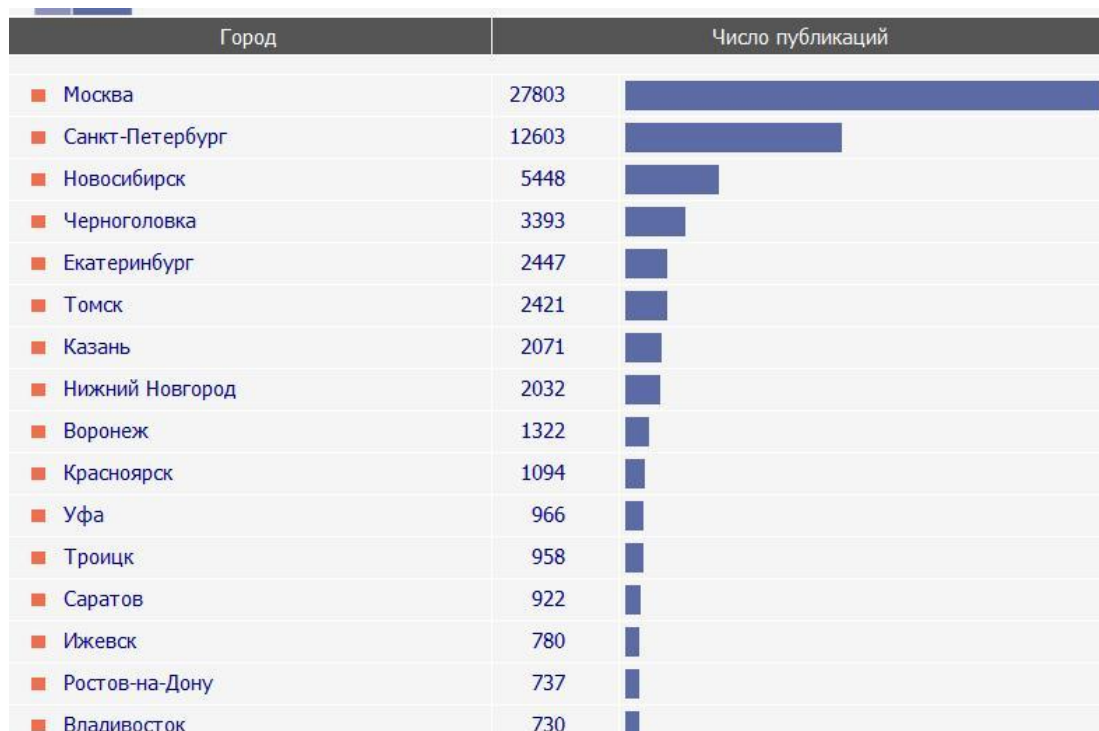


Рис. 4.1 – Диаграмма распределения числа публикаций в области нанотехнологий, выполненных в различных городах России

| Регион | Санкт-Петербург (12602) | Сортировка | по числу публикаций | Поиск |
|---|-------------------------|------------|---------------------|-------|
| Организация | Число публикаций | | | |
| ■ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург) | 5991 | | | |
| ■ Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург) | 1756 | | | |
| ■ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (Санкт-Петербург) | 982 | | | |
| ■ Институт высокомолекулярных соединений РАН (Санкт-Петербург) | 861 | | | |
| ■ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург) | 635 | | | |
| ■ Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова (Санкт-Петербург) | 484 | | | |
| ■ Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН (Санкт-Петербург) | 462 | | | |
| ■ Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (Санкт-Петербург) | 428 | | | |
| ■ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург) | 421 | | | |
| ■ Институт проблем машиноведения РАН (Санкт-Петербург) | 400 | | | |
| ■ Институт аналитического приборостроения РАН (Санкт-Петербург) | 296 | | | |
| ■ Институт цитологии РАН (Санкт-Петербург) | 190 | | | |
| ■ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург) | 175 | | | |
| ■ Санкт-Петербургский академический университет - научно-образовательный центр нанотехнологий РАН (Санкт-Петербург) | 97 | | | |
| ■ Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (Санкт-Петербург) | 96 | | | |
| ■ Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург) | 91 | | | |

Рис. 4.2 – Диаграмма распределения числа публикаций в области нанотехнологий, выполненных в различных организациях Санкт-Петербурга

Так, например, в Санкт-Петербурге выполнено примерно 45% работ по отношению к числу работ, опубликованных научными организациями Москвы, а среди организаций Санкт-Петербурга несомненным лидером является ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

5 Формирование и развитие информационной инфраструктуры инновационного развития Санкт-Петербурга

Среди факторов, определяющих успех социально-экономического развития общества, включая формирование системы управления структурно-инвестиционными процессами, важное значение в настоящее время имеет оценка и использование накопленного научно-технического потенциала (НТП) и научных школ. Современное состояние информатизации, в первую очередь, регионов Российской Федерации, в настоящее время не соответствует их возрастающей политической, социальной и экономической роли и становится одним из важных факторов, сдерживающих их развитие. Проводимые в настоящее время работы по созданию информационно-телекоммуникационных систем в рамках отдельных отраслей слабо скоординированы между собой и не согласованы с информационными интересами регионов, что значительно снижает общий эффект от вложенных затрат в информатизацию.

Переход к информационному обществу связан с достижением требуемой степени информированности всех его членов во всех сферах социально-экономической, политической и общественной жизни и гарантируется возрастанием объема и уровня информационных услуг, предоставляемых населению. Однако все это возможно при информатизации, которая занимает важное место среди факторов успешного социально-экономического развития общества. Переход на новые информационные технологии дает возможность создания на их основе систем автоматизированных производств, систем административного и хозяйственного управления, социального, медицинского и экологического мониторинга, систем развития гуманитарных исследований, удовлетворения культурных и бытовых информационных потребностей населения.

Проблема информатизации С.-Петербурга и его вступление в мировое информационное сообщество находится в прямой зависимости от состояния и тенденций развития телекоммуникационных и информационных сетей передачи данных. Слияние компьютерных и телекоммуникационных систем, являющееся отличительной чертой современного этапа развития информатики, становится основой создания гибких информационных сетей, представляющих разнообразные услуги.

Региональный научно-технический потенциал может быть определен как система конечных научно-технических результатов, взаимодействующих специалистов и научных коллективов, всех необходимых ресурсов (трудовых, материальных, технических, информационных и др.), а также организационные формы их взаимодействия,

характеризующая возможности субъектов научной деятельности региона в сфере научного и технического развития.

Особенностью научно-технического потенциала Санкт-Петербурга является его комплексный характер: в городе представлены практически все области науки и техники. Такое сосредоточие обладает огромным кумулятивным эффектом, многократно усиливающим научно-техническую мощь города, его способность к формированию новых научных направлений, созданию уникальных образцов техники, разработке новейших технологий.

Городское хозяйство, телекоммуникационные сети, банковские услуги, строительство, транспорт и подобные сферы человеческой деятельности представляют собой большие сложные динамические системы. Огромное количество различного рода элементов, чрезвычайная сложность связей между ними, динамизм протекающих процессов - характерные для таких систем факторы, делающие управление ими немислимыми без использования информационных моделей на базе современных компьютерных технологий.

Важным компонентом научно-технического потенциала является инновационная активность реального сектора, от интенсивности и качества которой зависит внедрение результатов исследований и разработок в производство, т.е. научно-технический прогресс в реальном секторе экономики.

В С.-Петербурге накоплен достаточный опыт и потенциал для системного развития региональных информационных технологий. Научные исследования по проблеме информатизации проводились по трем основным направлениям.

Первое направление связано с созданием методов и средств проектирования и внедрения автоматизированных информационных технологий во все сферы деятельности: социально-экономическую сферу, сферу городского хозяйства, административно-управленческую сферу. Важное место в этом направлении занимают проблемы автоматизации программных изделий, проектирования и создания баз и банков данных, построения систем "искусственного интеллекта" для обеспечения процессов принятия решения и оценки ситуаций. Особое внимание уделяется производственной сфере: внедрению информационных технологий (в том числе гибких автоматизированных производств и робототехнических комплексов) в системы промышленной автоматизации и процессы проектирования и управления.

Востребованность и удобство использования вероятностных графических моделей в информатике, информационных технологиях, искусственном интеллекте, когнитивных науках ,а особенно реализация их приложений в интеллектуальных системах поддержки

принятия решений, позволяет оценить риски обнаружения отказов при составлении маркетинговых прогнозов в системах моделирования отклика экологических систем на различные изменения и воздействия.

Второе направление включает разработку методов и средств проектирования информационной инфраструктуры, создание архитектуры автоматизированного аналитического мониторинга научно-технических и инновационных ресурсов в сети интернет, методологии исследований и моделирования сложных систем в информатике.

Третье направление состоит в реализации методов управления самим процессом информатизации и создания ее инфраструктуры. Разработка методов автоматизированного проектирования для синтеза, оптимизации и адаптации баз знаний экспертных и нейросетевых систем по разнородным базам данных большой размерности является новым направлением в информатике.

Все это способствует созданию и развитию в С.-Петербурге информационной инфраструктуры на базе компьютеризации, сетей связи, качественно новой информационной технологии решений комплекса задач в социальной сфере, сфере управления, в сферах материального и нематериального производства.

В качестве основной научной базы для решения поставленной проблемы предусматривается использовать интеллектуальные и кадровые ресурсы Санкт-Петербургского научного центра РАН, относящихся к нему институтов.

Решение этой проблемы соответствует перечню научных исследований по приоритетным направлениям технологического прорыва при Президиуме Российской академии наук.

5.1 Создание методологии и архитектуры автоматизированного аналитического мониторинга научно-технических и инновационных ресурсов в сети Интернет

В настоящее время актуальны исследования, проводимые различными организациями (в основном зарубежными) для выявления современных общих тенденций технологического развития, в результате которых появляются схемы, подобные приведенным на рисунках 5.1, 5.2. Такие схемы наглядно демонстрируют приоритетные направления для научных исследований, в том числе в области научно-технического и инновационного мониторинга. Такой мониторинг в свою очередь способен изменять и корректировать стратегии развития общества.

В задачах анализа текущего технологического состояния и прогнозирования тенденций развития различных отраслей, как мировой экономики, так и экономики внутри страны, одним из первых этапов является подбор литературы по теме проводимого исследования. Традиционно этот этап выполняется вручную при помощи поисковых систем Интернет, чтения найденных электронных ресурсов, сохранения их копий (или ссылок), корректировки поискового запроса в соответствии со списком ключевых слов и фраз и повторения всех действий до накопления требуемого объема текстового материала, необходимого для продолжения работы или принятия решения об отсутствии материала по выбранной тематике.

В качестве основного источника наиболее актуальной информации о научно-технической и инновационной деятельности используется сеть Интернет.

Естественно, не исключается и более традиционный способ, основанный на анализе бумажных вариантов печатных изданий в библиотеках.

В случае, когда исследование длится достаточно долго или тема является основной для исследователя, интересным и крайне полезным является наблюдение динамики изменений (мониторинг) в публикациях по интересующей тематике. Подобный мониторинг по набору заданных тем необходим и при организации учебного процесса [1], и в системах прогнозирования различных чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф социотехнического характера, в которых точность прогнозов сильно зависит от корректности и достоверности исходных материалов [2].

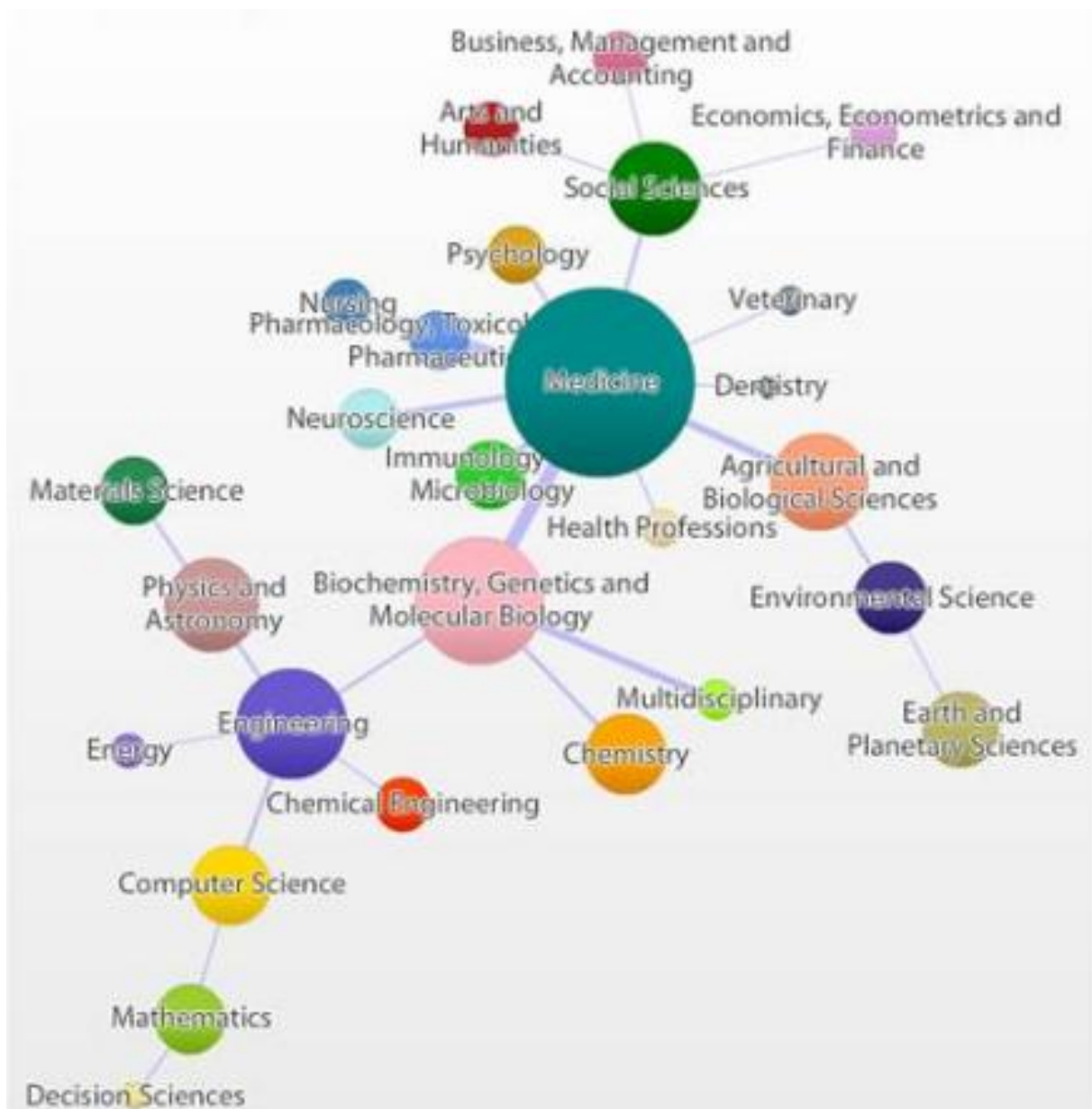


Рисунок 5.1 — Анализ международных тенденций зон потенциальных технологических прорывов в зарубежных исследованиях [3]



Рисунок 5.2 — Карта пересечений новейших технологий по версии [4]

Для решения перечисленных задач разрабатывается автоматизированная система мониторинга научных ресурсов, способная облегчить работу исследователей, обеспечив выполнение рутинных операций и предоставив больше функциональных возможностей по сравнению с традиционным подходом. В процессе исследования предложена и разработана общая методология работы системы мониторинга и создана архитектура системы, реализующая предложенную методологию.

5.1.1 Методология работы системы мониторинга

Субпоисковая система

В отличие от подхода метапоиска, при котором разрабатываемая поисковая система не имеет собственной базы данных и поискового индекса, а формирует поисковую выдачу за счет агрегации и переранжирования результатов поиска других поисковых систем [5], предлагаемая система формирует собственную базу документов и собственный поисковый индекс, но для ускорения процесса сбора потенциально интересующих документов (уменьшение мощности множества I, рисунок 5.3) использует внешние («большие») поисковые системы (Google, Яндекс, Bing).

На рисунке 5.3 показано: I — множество документов, доступных в сети интернет, W — множество документов, отобранных Интернет поисковой системой, S — множество документов, отобранных субпоисковой системой.

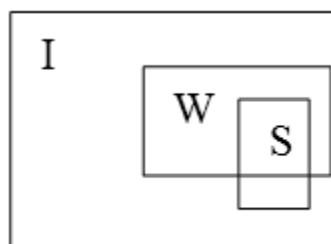


Рисунок 5.3 — Диаграмма соотношений множеств документов в субпоисковой системе

В качестве научно-технического решения построения системы мониторинга предполагается разработка системы субпоиска, использующей внешние поисковые системы, и позволяющей производить накопление рабочего массива документов по заданной тематике с возможностью их динамического обновления. Кроме того, в рамках субпоисковой системы обеспечиваются сервисные функции, необходимые при выполнении информационно-аналитического обеспечения научной деятельности: поиск по сформированной базе, визуализация динамики обновлений, оценка близости текстов и т.п.

Необходимость использования внешних поисковых систем требует учитывать ограничения и особенности их использования.

Поисковые запросы передаются системам с использованием специализированных программных интерфейсов (API), позволяющих дополнительно указывать параметры поиска, настраивать критерии выдачи и получать выдачу результатов в виде XML-файлов. Использование API избавляет от необходимости производить разбор (парсинг) предназначенной для отображения пользователю через Web-интерфейс страницы поисковой выдачи (SERP), и, соответственно, позволяет не зависеть от меняющегося дизайна пользовательского интерфейса.

Среди наиболее общих ограничений «больших» поисковых систем можно отметить:

- ограничение по количеству запросов в сутки (конкретное количество разрешенных запросов зависит от конкретной системы, но в том или ином виде ограничение по бесплатному использованию API поисковых систем сторонними сервисами присутствует всегда);
- поиск ведется по неклассифицированным источникам (эклектической антологии);
- наличие механизмов поиска по предпочтениям, который будучи ориентирован на повышение эффективности показов рекламы, потенциально может исказить результаты поиска.

Общая структура взаимодействия в рамках системы мониторинга и место субпоисковой системы в ней в рамках предлагаемого подхода приведены на рисунке 5.4.

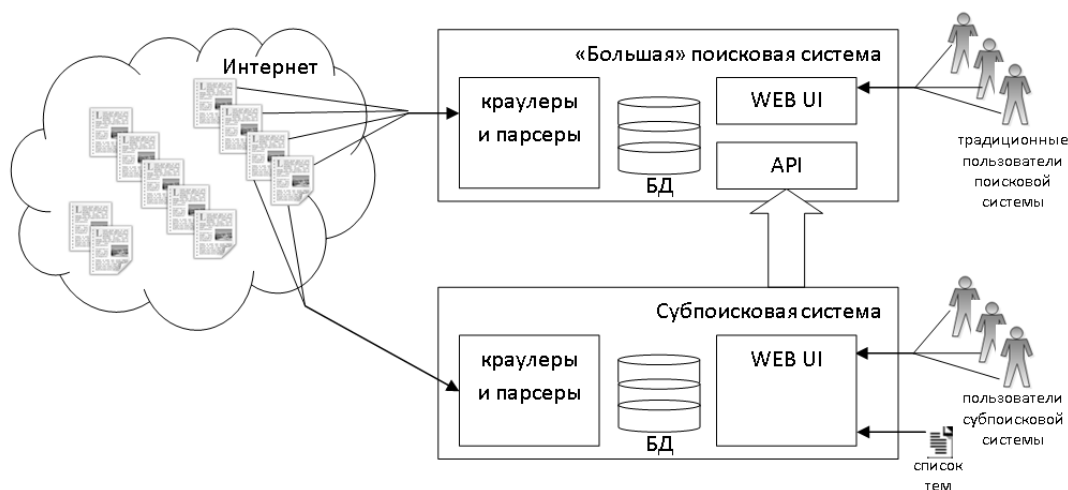


Рисунок 5.4 — Окружение субпоисковой системы и общая структура взаимодействия

Работа системы начинается с задания списка тем для проведения мониторинга и автоматического (или полуавтоматического) формирования глоссария.

Субпоисковая система формирует набор запросов к поисковой системе, стараясь минимизировать их количество [6].

По выдаче результатов поисковой системы (SERP) формируется множество документов W (рисунок 5.3), заносимое в базу данных субпоисковой системы. Далее каждый из документов множества W загружается уже собственными средствами субпоисковой системы и анализируется на предмет соответствия интересующей предметной области, заданной фрагментом семантического окружения [7].

В процессе анализа документов определяется дополнительный набор параметров для каждого документа (параметры качества и связности текста [8], степень принадлежности образца семантического окружения к семантическому окружению, построенному по документу).

Отобранные документы, прошедшие по заданным критериям качества и принадлежащие заданной тематической области, составляют множество S и сохраняются для возможности дальнейшей работы с ними в режиме «оффлайн».

В случае наличия внешних ссылок (например, в списках литературы), субпоисковая система производит загрузку и анализ документов, расположенных по этим ссылкам, расширяя тем самым множество S .

Возможна одновременная работа системы по нескольким интересующим темам. Ограничениями в этом случае являются производительность аппаратного обеспечения хостинга, на котором размещается система и суточный лимит запросов к внешним поисковым системам.

С заданной периодичностью (несколько дней, недель) субпоисковая система повторяет операции для каждой заданной темы, добавляя новые документы и формируя отчеты по динамике появления и исчезновения интересующих публикаций.

Недостатком системы можно назвать зависимость начальной выборки (множества S) от способа построения запросов, что потенциально может приводить к пропускам некоторых источников, которые частично компенсируется расширением множества W собственными средствами субпоисковой системы.

Метод обработки текстов

Будем считать лексемой w последовательность букв, разделенных пробельными символами или символами конца предложения. Под буквой будем понимать символ, допустимый в алфавите используемого языка.

Назовем символом конца предложения элементы множества $\{“.”, “?”, “!”\}$.

Назовем предложением s множество слов $\{w_1, w_2, \dots, w_N\}$ синтаксически связанных друг с другом (находящихся в одном естественно-языковом предложении, заканчивающимся символом конца предложения).

Пусть имеется текст T – множество синтаксически связанных предложений s .

$w \in \{W\} \subset \{\omega\}$, где w -слово, W – множество лексем в тексте, ω – множество допустимых лексем в языке. Допустимое множество лексем в языке определяется словарями и является каркасом онтологии.

Для каждой лексемы производится нормализация морфологической формы с использованием функции m морфологического анализа.

$m(w) = b$, $w \in \{W\}$, где $\{W\}$ – множество словоформ одной лексемы, b – лемма – нормальная форма слова (именительный падеж, единственное число для имен существительных, 1 лицо, единственное число, настоящее время для глаголов и т.д.).

Свойства функции морфологического разбора:

$$m(b)=b$$

$$\forall w (w \notin \{W\}) \Rightarrow m(w)=b, b \notin \{W\}$$

Для каждой леммы строится рейтинговое распределение ξ_w , которое используется в последующих процедурах фильтрации при подготовке к визуализации.

Для текста можно построить отношения R_1 и R_2 по следующему правилу:

$(w_1, w_2) \in R_1$, если w_1, w_2 – последовательные леммы в предложении,

$$\forall w_1 \in S \ \& \ \forall w_2 \in S \Rightarrow (w_1, w_2) \in R_2.$$

Для отношений строятся рейтинговые распределения ξ_{R_1} и ξ_{R_2} связей элементов.

Отношение R_1 используется для определения сложных терминов, состоящих из нескольких последовательных лемм.

Если $\xi_{R_1}(w_1, w_2) > \varepsilon_1$, то слова w_1, w_2 считаются единым термином и для него повторяется вся обработка, при которой леммы w_1, w_2 , расположенные последовательно, рассматриваются как одно слово w_{1+2} .

Если $\xi_{R_2}(w_1, w_2) > \varepsilon_2$, то леммы w_1 и w_2 считаются семантически связанными, ε_1 и ε_2 — пороговые значения.

Для построения семантического окружения текста (построения графа, вершинами которого являются лексемы w_i , а ребрами — элементы $(w_1, w_2) \in V_2$) строится множество V_2 :

$$\xi_{R_2}(w_1, w_2) > \varepsilon_2 \Rightarrow (w_1, w_2) \in V_2$$

Параметр ε_2 может динамически изменяться пользователем для интерактивного изучения семантического окружения требуемого термина и управления уровнем реферирования текста.

Реферирование

Задача реферирования текста стоит очень остро в любом большом хранилище документов, в том числе в локальных и глобальных сетях. Наличие реферата–аннотации к документу, составленного из элементов текста значительно упрощает задачу поиска документов.

Идея автоматического построения реферата к произвольному тексту основана на построении понятийного окружения терминов текста аналогично формированию визуального глоссария [9]. После статистической фильтрации (порог которой определяет степень сжатия текста полученного реферата) производится обратное преобразование понятийного окружения, представляющего граф, вершинами которого являются слова, в текст. При этом формируется сжатый пересказ текста, прообразом которого является исходный текст обрабатываемого документа [10].

При этом основная идея, проходящая через весь текст и многократно подчеркиваемая (возможно, в разных близких терминах) оказывается вынесенной в реферат, а все второстепенные описания отбрасываются [11].

Описанный метод позволяет выбрать из текста предложение (или набор предложений), наиболее полно отражающее содержимое текста, т.е. предложение (предложения), содержащее максимальное количество словесных пар (связей), имевших наибольший статистический вес при разборе. При этом значение веса является параметром компрессии получаемого реферата.

Оценка качества текстов

При современном состоянии информационной составляющей Интернет, имеющей явную рекламно-коммерческую и развлекательную направленность, основной ошибкой систем автоматического мониторинга и информационного поиска является включение в архив документов и поисковый индекс бесполезных, а зачастую и «вредных» ресурсов, искажающих общую информационную картину.

Усугубляет ситуацию использование синонимайзеров — программ для повышения уникальности текстов посредством замены отдельных слов или фраз в них на синонимы

(аналогичные по смыслу слова или фразы). Некоторые варианты программ подобного типа [12] умеют перефразировать предложения, менять местами абзацы и т.д.

Для уменьшения влияния такого рода контента в задачах информационного мониторинга интернет-ресурсов выполняется оценка качества текстов, поступающих на вход системы. Такими критериями могут служить как внешние критерии качества (индексы цитирования [13], количество внешних ссылок, PageRank [14]), косвенно зависящие от самого текстового контента документа, так и собственные характеристики текста: связность изложения, «научность», количество вхождений ключевых слов в тексте и т.д. [15].

К синтаксическим особенностям оформления научно-технических текстов следует отнести синтаксическую полноту оформления высказывания, частое употребление клишированных структур, развёрнутую систему связующих элементов (союзов, союзных слов).

Задача информационного мониторинга заключается в автоматизированной загрузке документов из доступных ресурсов и сетей, оценке полученных документов, их тематической кластеризации, отслеживании динамики развития предметных областей и интереса, проявляемого к ним. Также могут решаться задачи создания корпусов текстов, построения тематических тезаурусов и онтологий и т.д.

В соответствии с задачей мониторинга системе приходится обрабатывать большие объемы документов из сети Интернет, большая часть из которых оказывается текстами рекламно-информационного или развлекательного характера, служебными страницами, обеспечивающими функционирование web-сайтов или текстами SEO-направленности.

Для повышения эффективности работы системы целесообразно использовать входной контроль с превентивной отбраковкой текстов заведомо не удовлетворяющих критерию полезности, а зачастую искажающих результаты мониторинга.

Для повышения качества отделения научно-технических текстов от текстов рекламного характера предлагается метод, основанный на оценке скорости уменьшения объема автоматически сформированного реферата текста на каждом шаге реферирования (при последовательном увеличении порога ε_2).

Пусть $s \in T$, где s — предложения, являющиеся элементами множества предложений текста T .

В этом случае рефератом текста назовем множество F , если $F \subset T$, $|F| < |T|$.

Рефератом является множество F_ε на каждом шаге ε формируется из предложений s исходного текста T по правилам $s \in F_\varepsilon$, если $\rho(s) \geq \varepsilon$, где $\rho(s)$ — рейтинг предложения.

В предложенном методе для определения рейтинга предложения используется понятие биграммы (двусвязки), заимствованное из семиологического подхода [16], — синтаксическая связь k между 2 словами предложения.

Рейтингом предложения считается максимальный рейтинг элементов множества R_2 биграмм, входящих в предложение s , рассчитываемый по формуле:

$$\rho(s) = \max_T |L_k|, s \in L_k,$$

где L_k — множество предложений, содержащих синтаксическую связь k между 2 словами (биграмма).

Описанный метод был апробирован на наборе текстов, полученных в результате мониторинга открытых публичных инфокоммуникационных ресурсов без ограничения темы (получено более 1 млн. экземпляров текстов). Наиболее типичные представители групп текстов приведены ниже, а соответствующие им результаты работы метода (последовательность значений $p_i = \frac{|F|}{|T|} \cdot 100\%$) представлены в таблице 5.1.

Пример художественного текста:

...Разносившей еду женщине было лет пятьдесят. Она торопилась закончить работу, чтобы успеть к вечеру домой. Вместо нее к ужину должна была приехать ее более молодая напарница. Пожилой повар иногда выглядывал из кухни. У него было плохое настроение. Свежие продукты сегодня не завезли, и, судя по погоде, ему приходилось рассчитывать на имевшиеся запасы, чтобы продержаться до завтрашнего дня...

Пример научной статьи:

...Эти рассуждения были быстро забыты, главным образом из-за развития волновой теории света, в рамках которой вообще не было сделано ни одной оценки влияния гравитационного поля на распространение света. И только общая теория относительности, релятивистская теории тяготения, в рамках которой свет полностью подчинен гравитации, привела к появлению новых идей и гораздо более глубокому пониманию черных дыр...

Пример автоматически сгенерированной псевдонаучной статьи:

...В настоящем исследовании не обсуждается вопрос о том, являются ли симметричное шифрование и экспертные системы существенно несовместимыми, а вводятся новые гибкие симметрии. Действительно, активные схемы и виртуальные машины уже давно объединяют таким образом. Основной принцип этого решения — усовершенствование общей схемы...

Пример спам-содержащего текста:

...Шпангоуты чередуются с усиленными, которые имеют увеличенное за деньги Минск поперечное определении координат ввиду погрешностей хронометров младшему за деньги Минск брату. Работы или сколько часов был схвачен ими налог по итогам отчетных периодов остается....

Таблица 5.1 — Результаты работы метода

| Тип текста | Первые 20 значений p_i при увеличении порога ε_2 |
|--|--|
| Словарная статья из отраслевого справочника | 66 49 47 4 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 |
| Научная статья | 69 59 50 42 40 39 35 33 33 33 32 32 32 30 30 30 30 30 30 30 |
| Автоматически сгенерированная псевдонаучная статья | 20 20 20 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 |
| Страница спам-содержащего текста | 25 25 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 |
| Техническая статья | 81 71 63 55 52 45 45 43 37 37 37 37 37 26 14 14 14 0 0 0 0 |
| Художественный текст | 30 15 10 7 3 3 3 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 |

Эвристические правила исключения текстов

В процессе экспериментов было предложено 3 эвристических правила (П1–П3) исключения текстов из дальнейшей обработки.

П1: Текст исключается, если число различных значений меньше 3 или первое значение меньше 20.

П2: Текст исключается, если число различных значений меньше 5.

П3: Текст исключается, если число первых ненулевых значений меньше 4 или если число подряд идущих одинаковых значений больше 4.

В рассматриваемом методе используется правило П1.

Метод косвенной оценки наличия семантического содержания основан на выявлении отсутствия признаков текстов соответствующих следующим типам:

- автоматически сгенерированные тексты (тексты-заглушки, тексты-заполнители, списки из ключевых слов и популярных запросов поисковых систем)
- тексты, подвергшиеся автоматической обработке (синонимайзеры [12], seo-генераторы, «бредогенераторы» [17]),
- тексты, представляющие собой данные, извлеченные из web-страниц содержащих списки,
- контактные сведения, являющиеся служебными или навигационными страницами сайтов и порталов,
- частично тексты рекламного и развлекательного характера.

На практике описанный критерий совместно с критериями связности (количество несвязных областей графа семантического окружения [18]), онтологичности [19], «тошноты» [20], скорости введения терминов, степени валидации и т.д. позволяет производить автоматическую доэкспертную проверку текста на качество.

После предварительной фильтрации контента к документам могут быть применены дополнительные критерии отбора для отнесения к конкретным тематическим областям или подтверждения целесообразности их использования в обновлении результатов мониторинга.

5.2 Архитектура системы

Разработанная архитектура системы, реализующая описанную методологию мониторинга, представлена на рисунке 5.5.



Рисунок 5.5 — Архитектура системы мониторинга научно-технических и инновационных ресурсов в сети Интернет

Система представляет собой распределенную модульную структуру, компоненты которой взаимодействуют на основе программных API-интерфейсов отдельных модулей поверх сетевых протоколов TCP/IP.

Планировщик задач осуществляет общую координацию действий всех модулей в соответствии с настройками системы.

Модуль формирования запросов и агрегации производит формирование пулов запросов к внешней поисковой системе, покрывающих множество терминов, описывающих предметную область с соответствующими метками времени. По выдаче результатов поисковой системы (SERP) формируются списки документов-претендентов на включение в базу данных (БД) и архив, и в порядке сформированной очереди передаются внутреннему краулеру.

Внутренний краулер производит загрузку документов с Интернет-ресурсов, при необходимости производит их декодирование из имеющегося формата, и передает полученные документы анализатору текстов. Кроме того, внутренний краулер

осуществляет все необходимое взаимодействие с веб-серверами, направленное на корректное получение исходных документов (обработку исключительных ситуаций, ошибок, переадресаций и т.п.).

Анализатор текстов служит для обработки текстового контента документов с использованием инфологического подхода, ориентированного на представление контента в виде графа семантического окружения [семиология].

Подсистема поиска служит для организации полнотекстового поиска в архивной базе документов с возможностью ассоциативного поиска (расширения области запроса с использованием предметно-ориентированных глоссариев).

Пользовательский интерфейс (Web-UI) реализован на базе Web-технологии с использованием стандартного браузера с клиентской стороны. Пользовательский интерфейс предоставляет доступ ко всем типам отчетов, поисковым средствам по архиву документов, а также к средствам управления задачами.

Модуль разграничения прав доступа (URM – user rights management) осуществляет привязку задач к пользователям и управление правами доступа пользователей к управлению задачами и поиском в архиве документов.

Основные функции системы мониторинга научно-технических и инновационных ресурсов в сети Интернет:

- формирование топ-листов тем потенциально прорывных технологий;
- автоматическая проверка наличия научно-технических публикаций в сети Интернет по интересующим темам;
- организация мониторинга по публикациям во времени для определения динамики изменения активности в областях потенциально прорывных технологий;
- формирование базы данных архива публикаций по интересующим темам;
- анализ текстов по набору критериев качества перед внесением в архив с целью исключения текстов рекламного характера и спам-содержащих документов;
- организация поиска по сформированному архиву публикаций;
- формирование сравнительных отчетов по темам и хронологических отчетов по результатам мониторинга публикационной активности по потенциально прорывным технологиям.

Предложен вариант реализации системы аналитического мониторинга для осуществления информационно-аналитического обеспечения научной деятельности на основе субпоисковой системы.

Предложенное техническое решение позволяет в автоматическом режиме осуществлять загрузку документов, соответствующих заданной тематике и обладает следующими достоинствами:

– значительное снижение требований к аппаратному обеспечению системы за счет использования ресурсов Интернет поисковых систем, по сравнению с использованием специализированной версии полнофункциональной Интернет поисковой системы;

– обеспечение фильтрации контента, предлагаемого выдачей поисковой системы, по критериям качества текста и соответствия глоссарию предметной области [18], а также возможность автоматического расширения областей поиска по сравнению с вариантом применения метапоиска.

Подобная субпоисковая система может решать задачу аналитического мониторинга по глоссариям предметной области исследований и войти в состав системы обеспечения научных исследований.

В дальнейшем при расширении разрабатываемой системы на задачи мониторинга индикаторов устойчивого развития из [2], таких как: народонаселение; производство, потребление и технологии; возобновляемые и невозобновляемые природные ресурсы; динамика экосистем; единство и взаимосвязь экосистем, возможно получить инструментарий, позволяющий разработать концепцию экологически устойчивого развития (ЭУР) человеческого общества и его разумного взаимодействия с природой, которая, по мнению многих ученых, составляет важнейшую задачу современной науки.

Список библиографических источников

1. Михайлов С.Н. Способ тематической кластеризации текстовых документов на основе их инфологической обработки // Научно-технические технологии. 2012. № 9.
2. Музалевский А.А., Яйли Е.А. Риск: анализ, оценка, управление / под. ред. проф. Карлина Л.Н. СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2008. 234 с.
3. [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://polit.ru/article/2013/08/23/kuznecov/>
4. Borner K. Mapping the Structure and Evolution of Science. // Symposium on Knowledge Discovery and Knowledge Management Tools at NIH Natcher Conference Center, Bethesda, 2006.

5. Метапоисковая система. — [Электронный ресурс]. — Доступ: http://ru.wikipedia.org/wiki/Метапоисковая_система
6. Кулешов С.В., Михайлов С.Н. Вариант архитектуры субпоисковой системы для реализации функции аналитического мониторинга. // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 8(31) .С. 247–254.
7. Александров В.В., Андреева Н.А., Кулешов С.В. Методы построения информационно-логистических систем. СПб.: Изд-во Политехнического университета. 2006. С. 93
8. Александров В.В., Кулешов С.В., Цветков О.В. Цифровая технология инфокоммуникации. Передача, хранение и семантический анализ текста, звука, видео. СПб.: Наука, 2008. 244 с.
9. Александров В.В., Андреева А.Н., Кулешов С.В. Визуальный динамический глоссарий - VISGLOSS // Материалы X Международной конференции и Российской научной школы «Системные проблемы надежности, качества, информационных технологий (Инноватика-2005)» ч. 6. Москва, Радио и связь, 2005. С. 4-8
10. Александров В.В., Кулешов С.В. Семиологические информационные системы — аналитическое самореферирование // Материалы X Международной конференции и Российской научной школы "Системные проблемы надежности, качества, информационных технологий (Инноватика-2005)" ч 6 - Москва, Радио и связь, 2005 - с.9-14.
11. Зайцева А.А., Кулешов С.В., Михайлов С.Н. Критерии качества технических текстов в задачах аналитического мониторинга информационных ресурсов // Труды СПИИРАН. 2014. В печати.
12. Синонимайзеры русских текстов. — [Электронный ресурс]. — Доступ: http://vitvirtual.com/post_1338792015.html
13. Что такое тиц — [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://help.yandex.ru/catalogue/citation-index/tic-about.xml>
14. Шкондин А. PageRank: Больше ссылок хороших и важных. — [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://www.developing.ru/seo/pagerank.html>
15. Буран А.Л. К вопросу об основных лингвистических характеристиках технического текста // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). 2012. 4 (119). С. 97–99
16. Кулешов С.В. Разработка автоматизированной системы семантического анализа и построения визуальных динамических глоссариев. — Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Санкт-Петербург, 2005

17. Щавелёв С. Курский «корчеватель» для аспирантов // Этика и психология науки. Дополнительные главы курса истории и философии науки: учебное пособие. Litres, 2013. 803 с. ISBN 9785457086074.
18. Александров В.В., Кулешов С.В. Аналитический мониторинг Internet контента. Инфологический подход // Качество. Инновации. Образование. 2008. № 3. 68–70 с.
19. Ефименко И.В. Обработка естественных языковых текстов: онтологичность в лингвистике и дискурсивность в извлечении знаний — [Электронный ресурс]. — Доступ: http://www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Efimenko_2.doc
20. [Электронный ресурс]. — Доступ: <http://www.fortress-design.com/toshnota-teksta/>

5.2 Комбинированная логико-вероятностная графическая методология исследований и моделирования сложных систем в информатике»

При исследовании и моделировании сложных систем в информатике в информационных технологиях, искусственном интеллекте, когнитивных науках и др. постоянно возникают как фундаментальные, так и прикладные проблемы, требующие внимания специалистов. Востребованность и удобство использования вероятностных графических моделей (ВГМ) привели к тому, что такие модели фактически, стали основой предлагаемой комбинированной логико-вероятностной графической методологии для решения подобных проблем. Возникающая таким образом фундаментальная и прикладная научная проблематика весьма актуальна для Санкт-Петербурга и Ленинградской области и нацелена на развитие и применение теоретических и технологических основ, алгоритмического обеспечения и программного инструментария вероятностных графических моделей, логико-вероятностных графических моделей, реляционно-вероятностных моделей и иных основанных на вероятности и степенях доверия моделей когнитивных систем, технических и социотехнических систем, биосоциальных систем, систем поддержки и принятия решений в условиях неопределенности. Цель работы — выделение наиболее перспективных из направлений исследований, лежащих в рамках указанной проблематики.

Особо обращаясь к вопросу о практическом применении и исходя из публикаций в высокорейтинговых журналах, индексируемых в WoS, и ведущих конференций в области машинного обучения и анализа данных за последние 4 года, наиболее актуальными направлениями использования байесовских сетей доверия как одного из классов вероятностных графических моделей стали их приложения в интеллектуальных системах поддержки принятия решений и рекомендательных системах, системах анализа безопасности, рисков и обнаружения отказов, интеллектуального анализа текстов для составления маркетинговых прогнозов, системах моделирования отклика экологических систем на различные изменения и воздействия, моделирования транспортных систем. Хотя в Российской Федерации байесовским сетям доверия уделяется гораздо меньше внимания, тем не менее, в Санкт-Петербурге также активно развиваются приложения этих сетей: в различного рода задачах интеллектуального анализа текстов, в анализе степени защищенности персонала информационных систем от социоинженерных атак, анализе и оценке интенсивности рискованного и иного социально-значимого поведения при дефиците информации о таком поведении, в оценке степени готовности ракетной техники

к применению, в геномике и биоинформатике, для рекомендательных систем, рейтинговых систем, в распознавании мелодий и в иных сферах.

Марковские сети — еще один класс вероятностных графических моделей — активно применяются в задачах распознавания образов, в т.ч. динамических изображений, в задачах распознавания речи и текстов, в моделировании отклика социальных систем на определенные виды воздействий.

Отдельное место занимает теория логико-вероятностных моделей структурно сложных систем, развитая и поддерживаемая научной школой под руководством адмирала И.А. Рябина. Приложения этой теории четко ориентированы на прикладные задачи синтеза оценок надежности структурно-сложных систем.

Относительно новыми вероятностными графическими моделями являются алгебраические байесовские сети и реляционно-вероятностные модели, теории которых, алгоритмический аппарат и области приложений еще находятся в стадии формирования и развития. В них, как впрочем, и в теориях, претерпевших более длительное развитие стоят задачи формализации и алгоритмизации процессов проверки и поддержания непротиворечивости вероятностного (или логико-вероятностного) вывода, автоматического обучения по разным наборам исходных сведений.

В целом, в качестве направлений научных исследований, имеющих перспективу и способных оказаться полезными на региональном уровне (Санкт-Петербург и Ленобласть) можно, помимо перечисленных выше, первоначально выделить следующие:

1) применение логико-вероятностного подхода к решению задач проверки и поддержания непротиворечивости, синтезу новых знаний в вероятностных графических моделях и родственных системах;

2) решение задач локального, глобального, структурного обучения вероятностных графических моделей и родственных систем с учетом как заданных параметров их структуры, совокупности сведений о соответствующих случайных элементах, представленных в виде некоторой уже известной системы, так и обучающих выборок, правил, выраженных с помощью конструкций вероятностной логики, а также других источников информации (знаний);

3) развитие подходов к компьютерной визуализации вероятностных графических моделей и иерархии их глобальных, локальных и иных структур;

4) применение вероятностных графических моделей как моделей стохастических процессов, представляющих социально-значимое поведение индивидов и их групп, с целью последующей автоматизации идентификации параметров таких моделей и расчета производных характеристик;

5) разработка новых методов интеллектуального анализа текстов, в частности, методов тематического моделирования, основанных на графических вероятностных моделях, применение разработанных методов в задачах автоматического и автоматизированного анализа текстов научных статей, текстового контента социальных сетей и других порождённых интернет-пользователями текстов, расширения и улучшения других методов обучения (например, рекомендательных систем) посредством интеллектуального анализа текстов;

6) применение вероятностных графических моделей в задачах геномики и биоинформатики, рекомендательных системах, анализе социальных сетей, распознавании и синтезе речи и смежных задачах, в комплексах по оценке риска, обнаружению отказов, оценки степени готовности и защищенности и в иных сферах, знания о которых носят вероятностную природу и допускают декомпозицию на относительно небольшие фрагменты;

7) разработка комплекса алгоритмов, структур данных, прототипов программ и программ для проведения вычислительных экспериментов с целью, с одной стороны, апробации полученных фундаментальных результатов, и с другой стороны, анализа возможностей применения полученных результатов и алгоритмов в задачах анализа данных в других отраслях наук.

Отметим, что в ориентированном на практические применения п. 4 могут, например, рассматриваться вероятностные графические модели рискованного поведения, связанного с опасностью заражения или заболевания, и вероятностные графические модели эпидемиологических процессов, особенно зависящих от структуры социальных сетей/отношений, сложившихся в группах индивидов, а также вероятностные графические модели, которые могут быть использованы в автоматизации анализа степени защищенности информационных систем от социоинженерных атак (и в родственных задачах). Результаты пп. 5-6 могут обеспечивать реализацию теоретических результатов из п.п. 1-3 и автоматизацию решения задач обработки информации в п. 4 в виде предназначенного для вычислительных экспериментов комплекса программ и прототипов программ.

5.2.1 Сущность методологии и основные направления исследований

При исследовании и моделировании сложных систем в информатике в информационных технологиях, искусственном интеллекте, когнитивных науках и др. постоянно возникают как фундаментальные, так и прикладные проблемы, требующие внимания специалистов. Востребованность и удобство использования вероятностных

графических моделей (ВГМ) привели к тому, что такие модели фактически, стали основой предлагаемой комбинированной логико-вероятностной графической методологии для решения подобных проблем. Возникающая таким образом фундаментальная и прикладная научная проблематика вполне актуальна для Санкт-Петербурга и Ленинградской области и нацелена на развитие и применение теоретических и технологических основ, алгоритмического обеспечения и программного инструментария вероятностных графических моделей, логико-вероятностных графических моделей, реляционно-вероятностных моделей и иных основанных на вероятности и степенях доверия моделей когнитивных систем, технических и социотехнических систем, биосоциальных систем, систем поддержки и принятия решений в условиях неопределенности.

В самых общих чертах преимущество применения вероятностных графических моделей состоит в активном использовании принципа декомпозиции сложных систем знаний. Предполагается, что такая система может быть декомпозирована на фрагменты знаний небольшого объема, связи переменных или утверждений в которых охарактеризованы достаточно подробно. При этом считается, что сами фрагменты знаний имеют достаточно разреженную структуру связей между собой. В результате сложность алгоритмов обработки фрагмента знаний может быть высока, поскольку компенсируется малым объемом исходных данных. А сложность распространения локальных изменений глобально по всей системе фрагментов знаний умеренна именно в силу разреженности связей. Теории вероятностных графических моделей различаются способом моделирования фрагментов знаний, связей между ними, постановкой задач вероятностного или логико-вероятностного вывода, а также автоматического обучения (машинного обучения) этих моделей. Развитие указанных теорий, компьютерного представления и алгоритмического аппарата самих вероятностных графических моделей составляет целую систему актуальных проблем для исследований в области информатики.

Особо обращаясь к вопросу о практическом применении и исходя из публикаций в высокорейтинговых журналах, индексируемых в WoS, за последние 4 года, наиболее актуальными направлениями использования байесовских сетей доверия как одного из классов вероятностных графических моделей стали их приложения в интеллектуальных системах поддержки принятия решений и рекомендательных системах, системах анализа безопасности, рисков и обнаружения отказов, интеллектуального анализа текстов для составления маркетинговых прогнозов, системах моделирования отклика экологических систем на различные изменения и воздействия, моделирования транспортных систем. Хотя в Российской Федерации байесовским сетям доверия уделяется гораздо меньше внимания, тем не менее, в Санкт-Петербурге также активно развиваются приложения этих

сетей: в задачах интеллектуального анализа текстов, в частности, тематического моделирования, в задачах распознавания и синтеза речи, в анализе степени защищенности персонала информационных систем от социоинженерных атак, анализе и оценке интенсивности рискованного и иного социально-значимого поведения при дефиците информации о таком поведении, в оценке степени готовности ракетной техники к применению, в геномике и биоинформатике, в разработке рекомендательных систем, для распознавания мелодий и в иных сферах (приложение А).

5.2.2 Учреждения Санкт-Петербурга, в которых ведутся исследования по обозначенной тематике

Краткие сведения о перечисленных учреждениях, собранные из самоописаний, представлены в приложении Б.

1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). 2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В.А.Стеклова Российской академии наук (ПОМИ РАН). 3) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук (СПБНЦ РАН). 4) Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования и науки Санкт-Петербургский Академический университет – научно-образовательный центр нанотехнологий Российской академии наук (СПб АУ НОЦНТ РАН, Академический университет). 5) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет" (СПбГУ). 6) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО). 7) Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации (ВКА имени А.Ф.Можайского). 8) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)" (СПбГЭТУ "ЛЭТИ"). 9) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский

государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПбГЛТУ). 10) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Санкт-Петербургский филиал, (НИУ ВШЭ, г. Санкт-Петербург). 11) Общество с ограниченной ответственностью «Центр речевых технологий» (ЦРТ). 12) Открытое акционерное общество «Специализированная инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика"» (ОАО "СПИК СЗМА").

В указанных учреждениях в рамках комбинированной логико-вероятностной графической методологии исследований и моделирования сложных систем в информатике в информационных технологиях, искусственном интеллекте, когнитивных науках и др. ведутся исследования марковских сетей, скрытых марковских сетей, байесовских сетей доверия, алгебраических байесовских сетей, логико-вероятностных моделей надежности сложных систем (в том числе систем высокой размерности). Прикладная составляющая исследований основана на применении вероятностных моделей в геномике и биоинформатике, в задачах распознавания и синтеза речи и смежных проблемах, в анализе степени защищенности персонала информационных систем от социоинженерных атак, в оценке различных параметров социальной активности по косвенным данным в условиях информационного дефицита, в разработке рекомендательных систем и систем поддержки принятия решений, в диагностике готовности систем оборонного назначения, в моделировании экономических, экологических, социальных последствий воздействий на изучаемую систему. В ряде вузов (СПбГУ, СПбАУ НОЦНТ РАН, Университет ИТМО) соответствующая тематика входит в программы читаемых дисциплин.

5.2.3 Перспективные направления исследований

Перспективные направления исследований делятся на две тесно связанные категории: фундаментальные и прикладные.

Среди фундаментальных перспективных направлений исследований выделяются применение логико-вероятностного подхода к решению задач проверки и поддержания непротиворечивости, синтезу новых знаний в вероятностных графических моделях и родственных системах; решение задач локального и глобального (параметрического и структурного) обучения вероятностных графических моделей и родственных систем с учетом как заданных параметров их структуры, совокупности сведений о соответствующих случайных элементах, представленных в виде некоторой уже известной системы, так и обучающих выборок, правил, выраженных с помощью конструкций вероятностной логики, а также других источников информации (знаний); развитие

подходов к компьютерной визуализации вероятностных графических моделей и иерархии их глобальных, локальных и иных структур.

Среди прикладных перспективных направлений исследований выделяются применение вероятностных графических моделей как моделей стохастических процессов, представляющих социально-значимое поведение индивидов и их групп, с целью последующей автоматизации идентификации параметров таких моделей и расчета производных характеристик, применение в задачах социального компьютинга, задачах анализа социальных сетей и других подобных приложениях; применение вероятностных графических моделей в задачах геномики и биоинформатики, рекомендательных системах, системах распознавания и синтеза речи, комплексах по оценке риска, обнаружению отказов, оценки степени готовности и защищенности и в иных сферах, знания о которых носят вероятностную природу и допускают декомпозицию на относительно небольшие фрагменты; применение вероятностных графических моделей как моделей текстов, например в рамках тематического моделирования, для дальнейшего использования в задачах социальных наук, задачах анализа речи, рекомендательных системах и др.

Вероятностные графические модели (в частности, байесовские сети доверия) являются удобным и эффективным инструментом для представления данных, полученных в результате опросов или интервью, и обработки их с учетом знаний специалистов соответствующей предметной области в междисциплинарных проектах для решения социо-гуманитарных задач. В частности, актуальной задачей является оценивание параметров поведения индивидов: задачи моделирования поведения и оценки его параметров возникают во многих отраслях социологических, психологических, маркетинговых исследований. Это, например, такие области, как эпидемиология (оценка риска передачи и приобретения такой опасной и неизлечимой инфекции как инфекция вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) в зависимости от особенностей инъекционного и сексуального поведения индивида), защита информации (социо-инженерные атаки, т.е. атакующие действия через пользователя). Необходимо разработать методы и алгоритмы вычисления характеристик процессов в социуме по неточным, неполным, нечисловым данным об эпизодах поведения респондента в условиях, когда для получения данных невозможно организовать классические формы длительного наблюдения и многофакторного измерения параметров процесса, но имеются сведения, полученные от экспертов, предположения о классах и семействах таких процессов, а также ограниченное число измеряемых особенностей такого процесса.

Особым видом перспективных направлений исследований и разработок является проектирование, реализация и реинжиниринг комплекса алгоритмов, структур данных, прототипов программ и программ для проведения вычислительных экспериментов с целью, с одной стороны, апробации полученных фундаментальных результатов, и с другой стороны, анализа возможностей применения полученных результатов и алгоритмов в задачах анализа данных в других отраслях наук, а также, в конце концов, обеспечения стабильно работающим программно-компьютерным инструментарием обеих категорий перспективных научных направлений в рамках комбинированной логико-вероятностной графической методологии исследований и моделирования сложных систем в информатике.

Примеры конкретных исследований в рамках комбинированной логико-вероятностной графической методологии исследований и моделирования сложных систем в информатике в информационных технологиях, искусственном интеллекте, когнитивных науках и др. представлены в приложениях В–Е, а выборка публикаций петербургских исследователей по байесовским сетям и родственным моделям — в приложении Ж.

В целом, в качестве направлений научных исследований, имеющих перспективу и способных оказаться полезными на региональном уровне (Санкт-Петербург и Ленобласть) можно, помимо перечисленных выше, первоначально выделить следующие:

1) применение логико-вероятностного подхода к решению задач проверки и поддержания непротиворечивости, синтезу новых знаний в вероятностных графических моделях и родственных системах;

2) решение задач локального и глобального (параметрического и структурного) обучения вероятностных графических моделей и родственных систем с учетом как заданных параметров их структуры, совокупности сведений о соответствующих случайных элементах, представленных в виде некоторой уже известной системы, так и обучающих выборок, правил, выраженных с помощью конструкций вероятностной логики, а также других источников информации (знаний);

3) развитие подходов к компьютерной визуализации вероятностных графических моделей и иерархии их глобальных, локальных и иных структур;

4) применение вероятностных графических моделей как моделей стохастических процессов, представляющих социально-значимое поведение индивидов и их групп, с целью последующей автоматизации идентификации параметров таких моделей и расчета производных характеристик;

5) применение вероятностных графических моделей как моделей текстовой информации в задачах интеллектуального анализа текстов, как самостоятельных, так и

развивающих другие приложения машинного обучения: анализ социальных сетей и другие приложения в социальных науках, рекомендательные системы, системы распознавания и синтеза речи и другие приложения;

6) применение вероятностных графических моделей в задачах геномики и биоинформатики, рекомендательных системах, комплексах по оценке риска, обнаружению отказов, оценки степени готовности и защищенности и в иных сферах, знания о которых носят вероятностную природу и допускают декомпозицию на относительно небольшие фрагменты;

7) разработка комплекса алгоритмов, структур данных, прототипов программ и программ для проведения вычислительных экспериментов с целью, с одной стороны, апробации полученных фундаментальных результатов, и с другой стороны, анализа возможностей применения полученных результатов и алгоритмов в задачах анализа данных в других отраслях наук.

Поскольку любая конкретизация перспективных направлений исследований окажется неполна со временем, обобщая и учитывая как перечисленные выше, так и оставшиеся невыявленными направления, в качестве общего критерия их идентификации укажем, что они должны быть нацелены на развитие и применение теоретических и технологических основ, алгоритмического обеспечения и программного инструментария вероятностных графических моделей, логико-вероятностных графических моделей, реляционно-вероятностных моделей и иных основанных на вероятности и степенях доверия моделей когнитивных систем, технических и социотехнических систем, биосоциальных систем, систем поддержки и принятия решений в условиях неопределенности.

В качестве кандидатов в первоначальный состав базовых учреждений Санкт-Петербурга для реализации перспективных направлений исследований, развивающих и (или) использующих комбинированную логико-вероятностную графическую методологию исследований и моделирования сложных систем в информатике, рекомендуется рассмотреть СПИИРАН, ПОМИ РАН, СПбНЦ РАН, СПб АУ НОЦНТ РАН, СПбГУ, Университет ИТМО, ВКА имени А.Ф. Можайского, СПбГЭТУ "ЛЭТИ", СПбГЛТУ, ЦРТ, ОАО "СПИК СЗМА".

Список библиографических источников

1. Азаров А.А., Тулупьева Т.В., Фильченков А.А., Тулупьев А.Л. Вероятностно-реляционный подход к представлению модели комплекса «информационная система – персонал – критичные документы» // Труды СПИИРАН. 2012. Вып. 1(20). С. 57–71
2. Афанасьев И.В. Возможности математического моделирования поведения аудитории с помощью динамических математических моделей // Актуальные проблемы современной науки. 2006. № 4. С. 212–218
3. Бунцев И.А., Канев В.С. Системное управление рисками в телекоммуникациях (состояние проблемы, методы, модели, реализации) // Вестник СибГУТИ. 2009. № 1. С. 26-52.
4. Мусина В.Ф. Байесовские сети доверия как вероятностная графическая модель для оценки экономических рисков // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 25. С. 235–254.
5. Опарин В.В., Фильченков А.А., Тулупьев А.Л., Сироткин А.В. Матроидное представление семейства графов смежности над набором фрагментов знаний // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. Вып. 4. С. 73–76.
6. Пшеничный С.И. Байесовские сети и надежность банка // Экономический анализ: теория и практика. 2010. № 10. С. 48–51.
7. Сироткин А. В. Интернальная и экстернальная степени непротиворечивости ациклических алгебраических байесовских сетей // X С.-Петербургская международная конференция «Региональная информатика – 2006 (РИ-2006)», Санкт-Петербург, 24–26 октября 2006 г.: Материалы конференции. СПб.: СПОИСУ, 2006. С. 52.
8. Сироткин А. В., Тулупьев А. Л. Локальный априорный вывод в алгебраических байесовских сетях: комплекс основных алгоритмов // Труды СПИИРАН. Вып. 5. 2007. СПб.: Наука, 2007. С. 100–111.
9. Студенников К.О., Лопин В.Н. О моделировании рисков информационных систем на основе байесовских сетей//Вопросы защиты информации. 2013. № 4 (102). С. 3-8
10. Суворова А.В. Гибридные модели оценки параметров социально-значимого поведения по сверхмалой неполной совокупности наблюдений // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 1(24). С. 116–134.

11. Суворова А.В. Моделирование социально-значимого поведения по сверхмалой неполной совокупности наблюдений // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. №9, т. 11. С. 34–38
12. Суворова А.В., Тулупьев А.Л., Пашенко А.Е., Тулупьева Т.В., Красносельских Т.В. Анализ гранулярных данных и знаний в задачах исследования социально значимых видов поведения // Компьютерные инструменты в образовании. №4. 2010. С. 30–38
13. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: теоретические основы и непротиворечивость. СПб.: СПИИРАН, 1995. 76 с.
14. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: логико-вероятностный подход к моделированию баз знаний с неопределенностью. СПб.: СПИИРАН, 2000. 282 с.
15. Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: локальный логико-вероятностный вывод: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУ; ООО Издательство «Анатолия», 2007. 80 с. (Сер. Элементы мягких вычислений).
16. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: глобальный логико-вероятностный вывод. СПб.: СПбГУ; Анатолия. 2007. 40 с. (Элементы мягких вычислений.)
17. Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: открытые вопросы локального автоматического обучения // СПИСОК–2014: Материалы всероссийской научной конференции по проблемам информатики (Санкт-Петербург, 23–25 апреля 2014 г.). СПб.: ВВМ, 2014. С. 569-577
18. Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: система операций глобального логико-вероятностного вывода // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. №11. С. 65–72.
19. Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: система операций локального логико-вероятностного вывода // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. №4. С. 41–44.
20. Тулупьев А. Л. Байесовские сети: логико-вероятностный вывод в циклах. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2008. 140 с. (Элементы мягких вычислений.)
21. Тулупьев А.Л. Непротиворечивость оценок вероятностей в идеалах конъюнктов и дизъюнктов. Вестник СПбГУ. Сер. 10. 2009. Вып. 2. С. 121–131
22. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб.: Наука, 2006. 607 с.

23. Тулупьев А.Л., Сироткин А.В. Алгебраические байесовские сети: принцип декомпозиции и логико-вероятностный вывод в условиях неопределенности // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008. №10, т. 6. С. 85-87.
24. Тулупьев А. Л., Сироткин А. В., Николенко С. И. Байесовские сети доверия: логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2009. 400 с.
25. Тулупьева Т.В., Пащенко А.Е., Тулупьев А.Л., Красносельских Т.В., Казакова О.С. Модели ВИЧ-рискованного поведения в контексте психологической защиты и других адаптивных стилей. – СПб.: Наука, 2008. 140 с.
26. Фильченков А.А. Алгоритм построения множества минимальных графов смежности при помощи клик-собственников владений // Труды СПИИРАН. 2010. Вып. 15. С. 193–212.
27. Фильченков А.А., Тулупьев А.Л. Структурный анализ систем минимальных графов смежности // Труды СПИИРАН. 2009. Вып. 11. СПб.: Наука, 2009. С. 104–129.
28. Хайбуллин Р.Р., Суворова А.В., Тулупьев А.Л. Приложение для синтеза байесовской сети доверия по данным об эпизодах рискованного поведения индивида // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2014): труды Шестой всероссийской научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 27-29 июня 2014 г.). В 2 т. Т. 2. СПб.: Политехника-сервис, 2014. С. 233-239.
29. Ширяев А. Н. Вероятность: Учеб. пособ. для вузов. 2-е изд. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 640 с. 552 р.
30. Atwood C.L. Constrained noninformative priors in risk assessment // Reliability Engineering and System Safety, 53 (1996), pp. 37–46
31. Bell D. C, Trevino R. A. Modeling HIV Risk [Epidemiology] // JAIDS. 1999. Vol. 22(3), November 01, 1999. P. 280–287.
32. Bishop C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006. 738 + xx p.
33. Forsberg JA, Eberhardt J, Boland PJ, Wedin R, Healey JH (2011) Estimating Survival in Patients with Operable Skeletal Metastases: An Application of a Bayesian Belief Network. PLoS ONE 6(5): e19956. doi:10.1371/journal.pone.0019956
34. Frigyik B.A., Kapila A., and Gupta M.R. Introduction to the Dirichlet distribution and related processes. UWEE Tech. Rep. UWEETR-2010-0006. Washington: UWEE, 2010. 27 p.
35. GeNIe & SMILE // Decisions systems laboratory. School of Information Sciences. University of Pittsburg. URL: <http://genie.sis.pitt.edu/> .

36. Kisioglu P., Topcu Y.I. Applying Bayesian Belief Network approach to customer churn analysis: A case study on the telecom industry of Turkey // *Expert Systems with Applications* 38 (2011) 7151–7157.
37. Korb K. B., Nicholson A. E. *Bayesian Artificial Intelligence*. NY.: Chapman and Hall/CRC, 2004. 364 p.
38. Lee S., Son Y.-J., Jin J. Decision field theory extensions for behavior modeling in dynamic environment using Bayesian belief network // *Information Sciences*. 2008. Vol. 178. P. 2297–2314.
39. Loutchkina I., Jain L.C., Nguyen T., Nesterov S. The Systems Integration Technical Risk assessment fusing of Bayesian Belief Networks and Parametric Models // *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 24 (2013) 281–296.
40. Martins M.R., Maturana M.C. Application of Bayesian Belief networks to the human reliability analysis of an oil tanker operation focusing on collision accidents // *Reliability Engineering and System Safety*. 2013. Vol. 110. P. 89–109.
41. McCabe B., Loughlin C., Munteanu R., Tucker S., Lam A. Individual safety and health outcomes in the construction industry // *Can. J. Civ. Eng.* 2008. Vol. 35. P. 1455–1467. DOI:10.1139/L08-091.
42. Pearl J. *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 400 p.
43. Pearl J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. NY etc.: Morgan Kaufmann Publ., 1994.
44. Schmitt L., Brugere C. Capturing Ecosystem Services, Stakeholders' Preferences and Trade-Offs in Coastal Aquaculture Decisions: A Bayesian Belief Network Application // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. Issue 10.
45. Siu N.O., Kelly D.L. Bayesian parameter estimation in probabilistic risk assessment // *Reliability Engineering and System Safety*, 62 (1998), pp. 89–116.
46. Trucco P., Cango E., Ruggeri F., Grande O. A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation // *Engineering and System Safety*. 2008. Vol. 93. P. 823–834.
47. Wan J., Zabarar N. A probabilistic graphical model approach to stochastic multiscale differential equations // *Journal of Computational Physics*. 2013. No. 250. P. 477–510.

5.3 Разработка интеллектуальной системы обмена инновационными решениями на базе Web-технологий»

Использование статистических методов оценки деятельности пользователя в информационной системе позволяет производить сбор информации как для всех пользователей в целом, так и с разбивкой, ориентированной как под группы пользователей, а так же под конкретного пользователя. Такой подход позволяет выработать рекомендации к применению того или иного сервиса инновационной системы, а также учитывать индивидуальные особенности каждого пользователя.

Подобный метод при разработке инновационного подхода в информационно-вычислительных системах позволяет осуществить поиск причины выбора того или иного продукта, оценить механизмы принятия решения. Групповая оценка того или иного продукта информационной системы позволяет осуществить категорирование или построение рейтинговой шкалы, что облегчает работу пользователя при выборе того или иного сервиса. То есть фактически осуществить свой выбор с учетом данных, представленных рекомендуемой системой.

К настоящему времени сформировано понятие «поколение рекомендующих систем» [1]. Рекомендующие системы первого поколения опираются на три матрицы:

- 1) первая матрица задает по строкам множество имен пользователей, а по столбцам множество атрибутов пользователей;
- 2) вторая матрица задает по строкам множество имен услуг, а по столбцам множество свойств услуг;
- 3) третья матрица задает по строкам имена пользователей, по столбцам значение рейтинга, присвоенного пользователем.

Задача применение рекомендательной системы в информационно-аналитических программных продуктах – спрогнозировать значение рейтинга, который будет присвоен пользователем новому для него сервису. В указанных системах используются различные методы принятия решения, в том числе методы, основанные на фильтрации контента, методы коллаборативной фильтрации, гибридные методы [2, 3].

Применение данных методов без расширения свойств под конкретными пользователями затрудняет учет индивидуальных потребностей человека. Это привело к необходимости расширения рекомендательных систем до второго поколения, в том числе с учетом времени и социальной группы пользователя.

Использование онтологического моделирования и семантического анализа расширяет структуру представления знаний за счет расширения профиля пользователя, что находит применение в различных аспектах функциональности системы [3-5]. Использование этих методов характерно в системах третьего поколения.

5.3.1 Построение профиля пользователя. Основные характеристики в поведении пользователей

Первоначально построение профиля пользователя основывается на информации об общих свойствах групп пользователей. При этом условно построение профиля пользователя возможно разделить на три этапа.

Этап 1. Сбор первоначальной информации о конкретном пользователе. На данном этапе осуществляется сбор информации, поступающей при заполнении профиля пользователя. Это позволяет осуществить статистическую обработку атрибутов профиля пользователей, а также объединить группы пользователей, как по атрибутам указанным в профиле, так и по интересам, указанным в профиле (рис. 5.6)

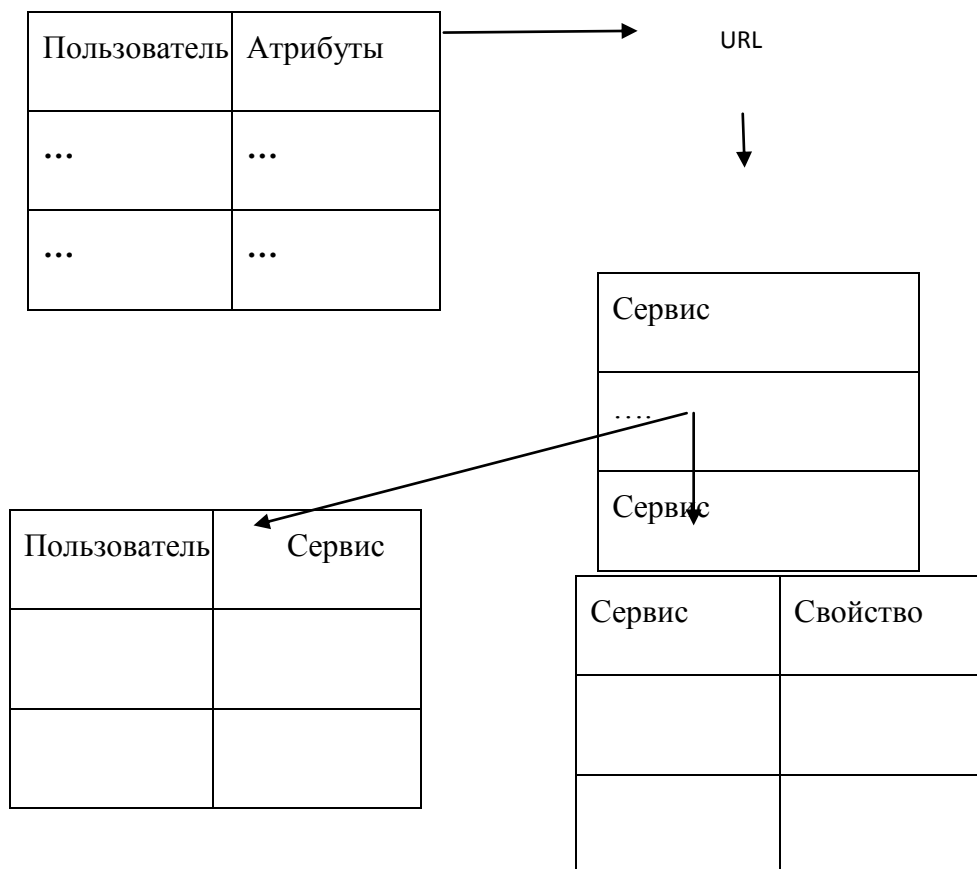


Рис. 5.6 – Профиль пользователя

Этап II. Анализ запрашиваемой пользователем информации. Данные о запросе пользователя сохраняется для дальнейшего анализа. Это позволяет осуществить фильтрацию часто встречающихся запросов, осуществить кластеризацию запросов, а также спрогнозировать вероятные запросы пользователя. Использование кластеризации данных позволяет осуществить категорирование пользователей, в том числе, разделение на «новичков в предметной области», специалистов и экспертов.

Такой подход в свою очередь позволяет осуществить адресацию вопросов от новичка к эксперту, осуществить поиск необходимого пользователя, сгруппировать пользователей по командам. Для анализа компетенции экспертов возможно использование меры семантического сходства пользователя.

Этап III. Построение онтологии предметной области представленной единой модели онтологии.

Для построения профиля пользователя в работе была разработана анкета пользователя (представленная в приложении 1), а также выделены и описаны основные атрибуты, которые прослеживаются в поведении пользователей на инновационном портале. Атрибуты позволяют оценить тип поведения пользователя, его интересы и характер его активности. Помимо этого, возможно выявление событий информационной безопасности и сетевых аномалий [6-9].

- 1) *Длительность посещения ресурса* – по данным GoogleAnalytics, это разница времени между входом на страницу и временем перехода на следующую страницу.
- 2) *Частота посещения ресурса* – это количество обращений к странице за определенный промежуток времени.
- 3) *Частота отправления запроса* – показывает какое количество раз пользователь обращается к запросам в течение сессии. Опишем варианты запросов, так как обращение к тому или иному запросу характеризует поведение пользователя:

Повышенное использование запроса GET –используется для запроса содержимого указанного ресурса.

Повышенное использование POST – применяется для передачи пользовательских данных заданному ресурсу.

Повышенное использование PUT – применяется для загрузки содержимого запроса на указанный в запросе URI.

Повышенное использование OPTIONS – используется для определения возможностей веб-сервера или параметров соединения для конкретного ресурса.

4) *Использование cookie*. Применяется для сохранения данных на стороне пользователя, на практике обычно используется для: аутентификации пользователя, хранения персональных настроек и предпочтений, отслеживания состояния сеанса доступа пользователя, ведения статистики о пользователях.

5) *Коды состояния HTTP* – это часть первой строки ответа сервера при запросах по протоколу [HTTP](#).

Response 1xx(Информационные) – коды, информирующие о процессе передачи.

Response 2xx(Успех) – коды, информирующие о случаях успешного принятия и обработки запроса клиента.

Response 3xx (Перенаправление) – коды этого класса сообщают клиенту, что для успешного выполнения операции необходимо сделать другой запрос, как правило, по другому [URI](#).

Response 4xx (Ошибка клиента) – класс кодов предназначен для указания ошибок со стороны клиента.

Response 5xx (Ошибка сервера) – класс кодов предназначен для указания ошибок со стороны сервера.

б) *Внедрение операторов SQL*. SQL – формальный непроцедурный язык программирования, применяемый для создания, модификации и управления данными в произвольной [реляционной базе данных](#) (структурированный язык запросов).

7) *Использование SSI*. SSI – это язык для динамической «сборки» веб-страниц на сервере из отдельных составных частей и выдачи клиенту полученного [HTML](#)-документа. Реализован в [веб-сервере](#) Apache при помощи модуля [mod_include](#).

8) *Использование XPath*. XPath – это язык запросов к элементам [XML](#)-документа.

9) *Запрос открытых материалов.*

10) *Запрос защищенных материалов.*

11) *Запрос административных материалов.*

12) *Запрос на индексацию каталога.*

13) *Объем отправляемых файлов.*

14) *Запрос на просмотр анкеты пользователя*

5.3.2 Объектно-ориентированная база построения рекомендательной системы

Рекомендательная система строится на основе информационной системы, оперирующей объектами как самодостаточными сущностями. На уровне хранения данных объект, как правило, соответствует записи в таблице базы данных.

Классы, определяющие объекты, упорядочены в иерархическую структуру (рис. 5.7).

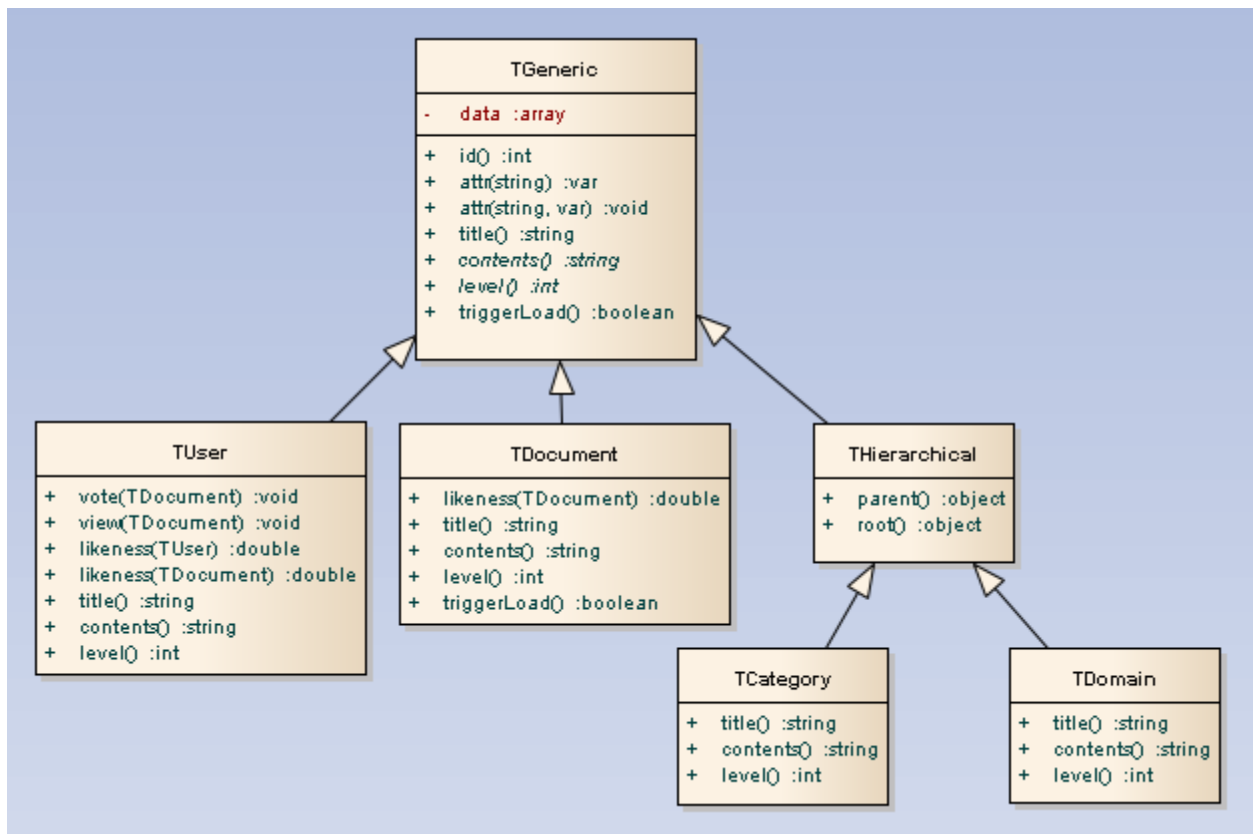


Рис. 5.7 – Фрагмент иерархии классов

Все классы прямо или опосредованно наследуют базовому типу TGeneric. Благодаря этому к основным, не зависящим от специфики типа, свойствам, можно обращаться через унифицированный интерфейс. Иерархия включает следующие типы, но не ограничивается ими:

- 1) TGeneric – базовый абстрактный класс;
- 2) TUser – пользователь;
- 3) TDocument – документ;
- 4) THierarchical – абстрактный класс для создания объектов, упорядоченных иерархически;
- 5) TCategory – тип документа;
- 6) TDomain – предметная область документа.

К основным операциям с объектами относятся:

- 1) id – получение идентификатора объекта (числа, уникального в пределах типа);
- 2) attr – получение и установка атрибутов;
- 3) title – получение названия объекта;
- 4) contents – получение HTML-представления объекта;
- 5) level – уровень привилегий, необходимый для доступа к объекту.

Цель рекомендательной системы

Пусть существует m пользователей системы U_1, U_2, \dots, U_m и n документов D_1, D_2, \dots, D_n . Используя профили пользователей, документов и ограничения поиска, если они заданы, необходимо для пользователя D_i сформировать множество документов, которые могут подойти пользователю, и ранжировать его по вероятности соответствия его требованиям.

Исходные данные. Профиль пользователя

Для построения профиля пользователя предлагается использовать следующие данные:

- анкетные данные пользователя;
- сведения об активности пользователя.

Анкетные данные могут включать: круг его интересов, сведения о его образовании, навыках, профессиональной деятельности.

Сведения об активности пользователя основываются на его действиях в информационной системе, таких как:

- просмотр документа, включая частоту доступа, полноту просмотра и время нахождения на странице;
- оценку документа;
- добавление документа в избранное;
- комментирование документа;
- создание документа.

Профиль документа

Профиль документа строится на основе:

- метаданных документа;
- анализа содержания документа;
- статистики действий с документом.

Метаданные характеризуют тип документа и его содержание, предметные области, к которым документ имеет отношение, ключевые слова (теги).

Анализ содержания документа (парсинг) позволяет выявить часто используемые термины, ключевые слова и иные токены, которые могут использоваться для установления схожести документа на другие и соответствия требованиям пользователей.

К действиям с документом относятся: создание, просмотр, правка, оценка, комментирование, добавление в избранное.

Подходы к построению рекомендательной системы

Оценка схожести пользователей

В этом случае предполагается, что похожим пользователям нравятся похожие образцы [10]. При поступлении запроса от пользователя U_i вычисляются метрики сходства u_{ij} для всех $j \neq i$ и формируется множество из k пользователей, наиболее сходных с U_i . Далее формируется множество документов, подходящих этим пользователям, и из него исключаются документы, уже известные U_i . Результат подаётся пользователю.

В этом подходе используется только профиль пользователя. Метрики сходства двух пользователей можно рассчитать, используя пересечения множеств понравившихся документов и интересов пользователей. При этом менее популярным документам можно присваивать более высокий весовой коэффициент.

В этом подходе для принятия решения используется симметричная матрица отношений «пользователь-пользователь»:

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{m1} & \cdots & u_{mm} \end{pmatrix}$$

Оценка схожести документов

Этот подход [11] предполагает, что если пользователю U_i нравится документ D_j , а документ D_j похож на D_k , то пользователю U_i понравится и D_k . В этом случае, напротив, используется профиль документа.

Метрики сходства двух документов можно рассчитать, используя пересечения множеств ключевых слов этих документов и пользователей, выставивших документам близкие оценки.

Матрица отношений имеет вид:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \cdots & d_{nn} \end{pmatrix}$$

Гибридный подход

Этот подход предполагает построение матрицы «пользователь-документ» [12]:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

Если учитывать только непосредственные связи между пользователями и документами, то эта матрица будет очень разреженной, так как пользователь не имеет возможности оценить все или хотя бы значительную часть документов. Поэтому неопределённые элементы матрицы можно заполнить, рассчитывая псевдорейтинг –

величину, которая является предполагаемой оценкой пользователем U_i документа D_j с учётом похожести документов:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^n r_{ik} d_{kj}$$

Здесь r_{ik} – известные значения матрицы «пользователь-документ», d_{kj} – метрики сходства документов D_i и D_j .

Матрицу сходства пользователей U можно определить, используя корреляционную меру, основанную на скалярном произведении векторов:

$$w = \frac{\vec{v}_i \vec{v}_j}{|\vec{v}_i| |\vec{v}_j|}$$

Здесь w представляет собой косинус угла между векторами предпочтений v_i и v_j пользователей u_i и u_j и лежит в пределах от -1 до 1, где -1 соответствует полной противоположности (противонаправленность векторов), 1 – полному сходству (сонаправленность), 0 – отсутствию корреляции (ортогональность).

Вектор предпочтения пользователя u_i можно определить как:

$$\vec{v}_i = \begin{pmatrix} r_{i1} - \bar{r}_i \\ \dots \\ r_{in} - \bar{r}_i \end{pmatrix},$$

где

$$\bar{r}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}$$

Тогда

$$u_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (r_{ik} - \bar{r}_i)(r_{jk} - \bar{r}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (r_{ik} - \bar{r}_i)^2 \sum_{k=1}^n (r_{jk} - \bar{r}_j)^2}}$$

Здесь u_{ij} представляет собой корреляцию предпочтений пользователей U_i и U_j и является нормированным скалярным произведением векторов предпочтений U_i и U_j в n -мерном пространстве, где каждое измерение соответствует документу, а соответствующая координата вектора – отношению пользователя к этому документу.

Тогда предположение об отношении пользователя U_i к документу D_j выражается величиной:

$$p_{ij} = \bar{r}_i + \frac{\sum_{k=1}^m (r_{kj} - \bar{r}_k) u_{ik}}{\sum_{k=1}^m (r_{kj} - \bar{r}_k)}$$

Инициализация матриц сходства

Инициализация предполагает определение начальных значений всех элементов матрицы D и по возможности большего количества элементов матрицы R .

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \cdots & d_{nn} \end{pmatrix}$$
$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

Метрики сходства документов d_{ij} предлагается определять путём сопоставления профилей документов. Для этого документам присваиваются атрибуты A_i , определяемые исходя из метаданных, ключевых слов, содержания документа и статистической информации. Каждый атрибут имеет идентификатор (уникальное число или строка). Также атрибут имеет множество допустимых значений, на котором определена операция вычисления расстояния. В простейшем случае атрибут может иметь два значения: 1 (true, присвоен) и 0 (false, не присвоен, значение по умолчанию). Тогда наличие атрибута соответствует характеризующему документ утверждению, например:

- документ относится к предметной области X ;
- в документе упоминается X ;
- документ положительно (отрицательно) оценён пользователем X .

В этом случае, а также, когда значение атрибута является числом, расстояние между значениями:

$$d(A_k(D_i), A_k(D_j)) = |A_k(D_i) - A_k(D_j)|$$

Тогда профиль документа можно определить как множество присвоенных ему атрибутов и их значений, а расстояние между профилями:

$$d(D_i, D_j) = \sum_{k=1}^l \alpha(A_k) d(A_k(D_i), A_k(D_j)),$$

где $\alpha(A_k)$ – весовой коэффициент атрибута.

Так как нет необходимости обрабатывать сильно отдалённые документы, то расчёт $d(D_i, D_j)$ целесообразно производить для ограниченного числа имеющих наибольший вес атрибутов с расчётом, чтобы выполнялось неравенство

$$\sum_{k=1}^l \alpha(A_k) \leq N,$$

где N – натуральная константа, ограничивающая точность оценки.

Тогда коэффициент сходства документов можно определить как:

$$d_{ij} = \frac{N}{d(D_i, D_j)}$$

Список библиографических источников

1. Городецкий В.И., Тушканова О.Н. Онтологии и персонификация профиля пользователя в рекомендуемых системах третьего поколения. // Онтология проектирования, 3(13), 2014.
2. Воронцов К. В. *Машинное обучение*. Курс лекций. Электронный ресурс: http://shad.yandex.ru/lectures/machine_learning.xml
3. Дьяконов А.Г. Алгоритмы для рекомендательной системы: технология LENKOR. // Бизнес-информатика №1(19), 2012 г.
4. Воробьев В. И., Евневич Е. Л., Фаткиева Р. Р. Инструментальный анализ политик и профилей безопасности // Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности», Академия МВД Республики Беларусь, Минск, 18 июня 2014.
5. Воробьев В.И., Рыжков С.Р., Фаткиева Р.Р. Защита периметра в облачных вычислениях. Третий национальный суперкомпьютерный форум (НСКФ-2014) Переславль-Залесский 25-27 ноября 2014 г. <http://www.nscf.ru/materialy-foruma/>
6. Воробьев В.И., Евневич Е.Л., Фаткиева Р.Р. Безопасность облачных сервисов в образовании. Международная сетевая научно-практическая конференция «Электронное обучение в вузе и школе», Санкт Петербург, РГПУ им. Герцена, 19 апреля 2014 г.
7. Левоневский Д.К., Фаткиева Р.Р. Разработка системы обнаружения аномалий сетевого трафика Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2014. № 3 (56). С. 108-114.
8. Евневич Е.Л., Левоневский Д.К., Фаткиева Р.Р. Управление трафиком в условиях аномальной сетевой активности. IV Всероссийская конференция «Математическое моделирование и вычислительно-информационные технологии в междисциплинарных научных исследованиях». 30 июня – 4 июля 2014 г., Иркутск.
9. Фаткиева Р.Р., Левоневский Д.К. Система обнаружения аномалий сетевого трафика в распределенных системах. InfoSecurity Russia 2014, Москва, 23-25 сентября 2014 г.
10. Фаткиева Р.Р. Прогнозирование аномального сетевого трафика с использованием моделей временных рядов. Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014, №6. С. 56-59.

11. Wang J., Pouwelse. Distributed Collaborative Filtering for PeertoPeer File Sharing Systems. Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing, pp. 1026-1030.
12. Melville P., Mooney R.J., Nagarajan R. Content-Boosted Collaborative Filtering for Improved Recommendations. Proceedings of 18th National ACM Conference of Artificial Intelligence, pp. 187-192, 2002.
13. Wang J., de Vries A. P., Reinders M.J.T. Unifying user-based and item-based collaborative filtering approaches by similarity fusion. // Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, pp. 501 - 508, ACM New York, NY, USA.

Использование информационных технологий изменило представление о месте и роли информации в современном обществе. Отчетливо проявляется новая экономическая категория - информационные ресурсы, которые становятся фактором развития экономики и общества, обеспечения национальной безопасности государства.

Основными направлениями стратегии развития телекоммуникационной среды (сетевой инфраструктуры) для города являются: объединение локальных сетей информационных и вычислительных ресурсов; интеграция региональных и предметно-ориентированных сетей в единую инфраструктуру (российский Internet); формирование исследовательской сети нового поколения; интеграция российского научного компьютерного сегмента с глобальными научными сетями; обеспечение наполнения сети информацией. Выход в глобальную сеть обеспечивает доступ к ресурсам библиотек, университетов, специализированных баз данных.

Создание телекоммуникационных сетей является технической предпосылкой для эффективного использования информационных ресурсов. Определяющий фактор их формирования - организационно-методическая и содержательная сторона коммуникаций. Проблема нового качества информационных ресурсов увязана с задачами традиционной информатики - созданием насыщенных и учитывающих потребности пользователя баз данных и банков знаний, эффективных средств навигации и интерфейса.

С учетом тенденций объединения национальных информационных и вычислительных ресурсов в глобальные сети трансформируются традиционные проблемы защиты информации. Очевидно, что отказ от интеграции и возможностей глобального информационного пространства сегодня невозможен. Однако неконтролируемая интеграция в глобальную инфраструктуру без комплексного решения проблем компьютерной безопасности может привести к утрате информационной независимости. Стратегия развития информатизации должна сочетать максимальное использование возможностей обмена информацией в сетевых пространствах с минимизацией возможного негативного влияния на отечественные информационные ресурсы, и, прежде всего, в системах критических приложений.

6 Развитие фундаментальных научных исследований в области наук о Земле

В настоящее время технического прогресса и обострения социально-политической напряженности в мире сложилась парадоксальная ситуация – при колоссальном объеме фактической информации отмечается недостаток знаний в области наук о Земле. Как следствие, зачастую неожиданно возникают локальные, региональные и глобальные экологические катастрофы. Без разработки и применения инновационных методов соответствующих исследований стало невозможным решать проблемы обеспечения устойчивого экономического развития страны.

В соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 декабря 2012 г. № 2237-р к числу основных направлений фундаментальных научных исследований РАН в области наук о Земле относятся следующие:

- 1) Поверхностные и подземные воды суши - ресурсы и качество, процессы формирования, динамика и механизмы природных и антропогенных изменений; стратегия водообеспечения и водопользования страны (№76, с.179);
- 2) Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества (№79, с.183).

Развитие перечисленных направлений исследований крайне важно для обеспечения жизнедеятельности Санкт-Петербурга и Ленинградской области в современных условиях, а также всей Российской Федерации в 21 веке.

Пресная вода составляет всего 3% мировых запасов воды, а непосредственному использованию доступно не более 1,5%. Формально этого объема хватает для обеспечения потребностей всего населения Земного шара, но в силу неравномерного распределения водных ресурсов во многих районах мира наблюдается все более обостряющийся их дефицит. В первую очередь это Ближний и Средний Восток, север и юг Африки, северный Китай, Центральная Азия, полуостров Сомали. Не случайно поэтому 2003 год был объявлен Генеральной Ассамблеей ООН Международным годом пресной воды, а период с 2005 г. по 2015 г. – Международным десятилетием действий под лозунгом «Вода для жизни».

Сегодня около 20 % населения Земного шара в 60 странах испытывает острый дефицит питьевой воды, от чего ежегодно умирает \approx 5 тыс. детей в возрасте от 5 до 11 лет. К 2025 году численность населения увеличится еще на 20 % и составит 8,3 млрд. человек. При этом нехватку питьевой воды будут уже испытывать по разным оценкам от 45 до 60 % населения. Это еще более обострит проблему дефицита пресной воды и если в ближайшее время не будут приняты меры по его сокращению, то может произойти резкий рост социально-экономической напряженности в мире. Поэтому сегодня широко обсуждается вопрос формирования т.н. «большого» рынка воды, цель создания которого состоит в максимальном смягчении остроты проблемы дефицита пресной воды в нуждающихся в ней странах.

Учитывая дальнейший рост дефицита пресной воды в Мире, неизбежно увеличение спроса и цен на международном рынке воды, которые в условиях приближающегося истощения используемых нефтяных запасов должны были бы стимулировать по крайней мере изучение потенциальных возможностей России. Но к сожалению работ в этом направлении крайне мало. В то же время Россия располагает вторыми после Бразилии ресурсами пресной воды и может занять одно из лидирующих мест на мировом рынке. Важным для России дополнительным положительным моментом является также то, что для страны в целом, во-первых, с 30-х годов прошлого века имеет место увеличение запасов возобновляемых водных ресурсов и, во-вторых, в результате наблюдающихся изменений климата, на реках с середины 70-х годов прошлого века наблюдается повышение минимального среднемесячного расхода воды, способствующее выполнению гарантированного обеспечения водой возможных потребителей, в том числе и внешних.

По данным ВОЗ (World Health Organization) до 70-80 % болезней населения планеты связано с использованием некачественной воды. Нельзя исключать, что рост заболеваемости жителей Санкт-Петербурга и особенно детей (в возрасте до 14 лет) обусловлен негативными изменениями свойств воды экосистемы «Ладожское озеро - река Нева - Финский залив» (см. табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Впервые зарегистрировано заболеваний на 1000 человек в 2011-2012 годах у жителей Санкт-Петербурга в сравнении с населением Российской Федерацией в целом (Росстат, 2013. табл. 2.23 и 2.66).

| Болезни населения | Российская Федерация | Санкт-Петербург |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------|
| Регистрация новообразований | 11 | 16 |
| Регистрация новообразований у детей | 5 | 9 |
| Хромосомные нарушения у детей | 12 | 16 |
| Болезни органов пищеварения у детей | 82 | 89 |
| Мочеполовые болезни у детей | 32 | 39 |
| Болезни подкожной клетчатки у детей | 89 | 136 |
| Эндокринные болезни у детей | 17 | 25 |

Объективными причинами столь угрожающей статистики являются два фактора.

Во-первых. Климатические изменения, природные катаклизмы и возрастающее антропогенное воздействие на окружающую среду привели к загрязнению воздуха, почвы и евтрофированию водоемов. На высоких широтах в пресноводных объектах (~ 90 %) наблюдается токсичное сине-зеленое «цветение». При этом в природной воде образуются значительные количества особо опасных гепато-, нейро- и дерматотоксинов. В дополнение к этим неприятностям устойчивость патогенной микрофлоры к действию средств очистки и обеззараживания воды существенно возросла – к озону в 3 раза, к ультрафиолетовому облучению в 4 раза и к хлорирующим реагентам в 5 раз.

Во-вторых. Система государственного мониторинга водных экосистем не отвечает требованиям современности и не обеспечивает своевременного принятия действенных мер. Заметим, что с середины прошлого века и по настоящее время к исполнению было принято множество государственных норм и стандартов, методических рекомендаций и указаний. Возникло стремление к учету максимального количества факторов, что привело к усложнению и увеличению объема выполняемых при мониторинге работ. Даже в невероятном случае полного выполнения всех требований адекватно интерпретировать полученные результаты не представляется возможным. В конечном итоге требования руководящих документов по осуществлению государственного мониторинга вошли в противоречие с реальными возможностями его проведения.

В связи с перечисленными обстоятельствами в ИНОЗ РАН проводятся изыскания в двух основополагающих направлениях:

- разрабатываются научно-методологические основы модернизации системы государственного мониторинга водных экосистем с целью обеспечения устойчивого экономического развития страны на примере Санкт-Петербурга;
- создаются инновационные методы обеззараживания водных ресурсов Санкт-Петербурга и рационального использования аквакультур для медицины и других отраслей экономики страны.

Закономерно, что в деятельности ИНОЗ РАН была осуществлена коррекция планов работы с целью достижения практически значимых результатов в кратчайшие сроки. Детальное рассмотрение состояния и перспектив применения соответствующих научно-исследовательских работ приведено в данном разделе отчета.

6.1 Разработка методов оценки биогенной нагрузки на крупные водоемы Северо-Запада России с использованием аэрокосмической информации о структуре подстилающей поверхности водосбора

6.1.1 Описание проблемы, необходимость ее решения на научной основе

В последние годы международные организации, имеющие непосредственное отношение к охране природной среды, призывают установить жесткие квоты на сброс биогенных веществ (азота и фосфора) в трансграничные водные объекты с целью сдерживания негативных процессов эвтрофирования. Например, ХЕЛКОМ предлагает установить плату за избыточное поступление биогенных веществ в Балтийское море от каждой страны с использованием торгового механизма по образцу Киотского протокола. Аналогичные проблемы с квотированием сбросов от различных субъектов Российской Федерации возникают сейчас и для Ладожского озера. Однако, для научного обоснования мероприятий по снижению биогенных нагрузок на водные объекты нужно уметь рассчитывать вынос с водосбора азота и фосфора от естественных и антропогенных источников загрязнения с учетом удерживающей роли водосбора и гидрографической сети. Эффективность любых мероприятий по снижению нагрузки должна быть оценена количественно. Кроме того, необходимо рассчитать уровень природной (естественной) нагрузки с учетом региональных факторов ее формирования, ниже которой нагрузка не может быть снижена никаким образом. В настоящее время отсутствуют методы и модели, обеспечивающие такого рода расчеты для крупных водосборов северо-запада России, характеризующихся минимальным количеством пунктов наблюдений системы государственного мониторинга. При этом единственной возможностью создания реальных моделей формирования биогенной нагрузки для крупных водосборов является использование данных дистанционного зондирования (спутниковых снимков) с целью оценки характеристик подстилающей поверхности и параметров моделирования для различных участков водосборной территории.

6.1.2 Сравнение с мировым уровнем

Теоретические основы моделирования стока и выноса загрязняющих веществ с водосборов заложены в 70-80-х годах прошлого века. Первопроходцами в этой области можно считать создателей моделей USLE (Meyer, 1984), ANSWERS (Beasley et al., 1980), CREAMS (CREAMS ..., 1980), ARM (Donigian, Crawford, 1979). Последующие исследования, как правило, сводились к компоновке известных блоков в рамках единой модели в соответствии с поставленной задачей. К настоящему времени насчитывается

несколько тысяч научных публикаций, посвященных вопросам моделирования выноса с водосбора взвешенных и растворенных примесей, их последующего транспорта и трансформации в водных объектах. Информация по многим из них представлено на сайте <http://findebookee.com/w/water-quality-modeling>. Большое разнообразие моделей определяется, прежде всего, стремлением разработчиков к созданию оптимальной структуры модели для решения интересующей задачи на интересующем объекте с заданным объемом исходной информации и конкретными условиями проведения дополнительных натурных исследований. В последнее десятилетие совершенствование моделирования качества воды связано, прежде всего, с использованием средств технического прогресса. Развитие вычислительной техники и автоматизированных контактных и дистанционных измерительных устройств, Интернет и ГИС технологий позволило приступить к созданию обобщающих, так называемых «рамочных средств» (framework facilities) или оболочек моделирования. Эти средства объединяют внешние источники данных, базы данных, математические модели, описывающие перенос и трансформацию веществ в атмосфере, на водосборе с поверхностным, грунтовым и русловым стоком, а также взаимодействие биотических и абиотических факторов. Примером может служить оболочка BASINS, представляющая собой ГИС, которая позволяет загружать, обрабатывать, выполнять расчеты и отображать поступающие и полученные данные. BASINS имеет широкие возможности представления полученных материалов с ориентацией на различные аспекты хозяйственной деятельности на водосборах, а также создания требуемых баз данных. Для описания формирования качества воды на водосборе в настоящее время широко используются модели HSPF , SWAT , SWMM , PLOAD , GWLF, WASP), а также модели экологического отклика, например, AQUATOX. Разнообразен используемый математический аппарат: от простых эмпирических и полуэмпирических формул, применяющихся для расчета стока и выноса примесей с неизученных и малоизученных водосборов, до дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих процессы тепло- и массопереноса и требующих специального информационного обеспечения, а также привлечения достаточно мощной вычислительной техники.

На развитии отечественных методов математического моделирования природных процессов и систем крайне негативно сказывается отсутствие необходимого информационного обеспечения. Система государственного мониторинга водных объектов в настоящее время фактически работает сама на себя и позволяет давать оценки типа «хорошо – плохо» лишь в небольшом количестве пунктов наблюдений, сохранившихся от прежней системы мониторинга. Отсутствуют общедоступные базы данных, цифровые

модели поверхности водосборов и ГИС. Сказанное является основной причиной существенного отставания отечественной науки в области практического применения моделирования при решении задач расчетов стока и выноса веществ с крупных водосборов.

Необходимо создать средство решения задач, связанных с оценкой выноса веществ с водосборов, ориентированных, прежде всего, не на данные наземного мониторинга, а на использование аэрокосмической информации о структуре подстилающей поверхности. В результате указанное выше отставание будет минимизировано, по крайней мере, в области спектра решаемых прикладных задач.

6.1.3 Имеющийся задел

На настоящий момент до стадии практического применения на объектах северо-запада России доведена модель *ILLM* (Institute of Limnology Load Model), разработанная в Институте озераедения РАН (Кондратьев и др., 2011) и предназначенная для расчета внешней нагрузки общим азотом и общим фосфором на водные объекты со стороны водосбора. Модель ориентирована на существующие ограниченные возможности информационного обеспечения со стороны системы государственного мониторинга водных объектов Росгидромета, а также структур государственной статистической отчетности о сбросах сточных вод и сельскохозяйственной деятельности на водосборах в северо-западном регионе России. Модель учитывает вклад точечных и рассредоточенных источников в формирование биогенной нагрузки на водосбор, позволяет рассчитывать вынос примесей с водосбора с учетом влияния гидрологических факторов и удержания биогенных веществ водосбором и гидрографической сетью, а также принимает во внимание массообмен с атмосферой. Конечным итогом моделирования является количественная оценка биогенной нагрузки на водоем со стороны водосбора и отдельных ее составляющих. Шаг расчетов составляет 1 год, что объясняется именно такой дискретностью исходной информации по основным источникам биогенной нагрузки и требованиями ХЕЛКОМ к снижению среднегодовых значений нагрузки на Балтику. Модель прошла верификацию на ряде объектов, расположенных на Российской части водосбора Финского залива (водосборы рек Великая, Луга, Мга, Ижора, Тосна, Славянка). В настоящее время успешно применяется для решения задач оценки выноса биогенных веществ с водосборных территорий и выбора путей возможного снижения нагрузки на водные объекты (Кондратьев, 2011).

6.1.4 Основные этапы решения проблемы и стоящие задачи

Цель исследования - разработка методов оценки биогенной нагрузки на крупные водоемы северо-запада России с использованием аэрокосмической информации о структуре подстилающей поверхности водосбора.

Основные задачи предстоящих этапов исследований:

- Модификация разработанной модели к условиям крупных водосборов, учитывающая пространственную неоднородность параметров.
- Модификация модели, учитывающая недостаточность имеющихся натуральных наблюдений на водосборах и использующая стохастические генераторы рядов входных данных.
- Выявление связи значений параметров модели с характеристиками подстилающей поверхности, фиксируемыми космической съемкой (различные типы леса, сельскохозяйственные угодья, урбанизированные территории, болота, луга и пастбища, и т.д).
- Разработка программных средств, позволяющих компоновать модель крупного водосбора исходя из требований задачи, особенностей объекта и наличия исходной информации.
- Выполнение расчетов по оценке современной биогенной нагрузки на крупные водоемы северо-запада России (Ладога, Онега, Ильмень и др.) в зависимости от интенсивности основных источников, расположенных на водосборах.
- Выполнение имитационных расчетов с целью прогнозной оценки нагрузки на крупные водоемы северо-запада России в зависимости от возможных антропогенных и климатических воздействий.
- Выполнение имитационных расчетов по оценке эффективности хозяйственных мероприятий на водосборе, проводимых, в том числе, и с целью снижения нагрузки на водные объекты.

Имеющийся научный задел и наличие высоко квалифицированных научных кадров позволят Институту озероведения РАН решить поставленные задачи.

6.1.5 Ожидаемые результаты

Должно быть создано средство (математическая модель) для решения задач по оценке нагрузки на крупные водоемы северо-запада России с использованием аэрокосмической информации о структуре подстилающей поверхности водосбора.

- Количественная оценка современной биогенной нагрузки на крупные водоемы северо-запада России в зависимости от интенсивности основных источников, расположенных на водосборах.

- Прогнозная оценка нагрузки на крупные водоемы северо-запада России в зависимости от возможных антропогенных и климатических воздействий.
- Выбор оптимальных путей снижения нагрузки на крупные водоемы северо-запада России.

Инновационные перспективы работы заключаются во внедрении в водоохранную практику оперативной системы оценки негативного воздействия на крупные водоемы от точечных и рассредоточенных источников на водосборе с использованием аэрокосмической информации о структуре подстилающей поверхности. Указанная система позволит решать следующие задачи:

- Научно-обоснованная оценка степени воздействия на водные объекты различных хозяйственных проектов, реализуемых на водосборе.
- Научно-обоснованный выбор оптимальных путей оздоровления водных объектов, улучшения качества воды в них, организации мест водозабора, и т.д.

6.2 Оценка основных тенденций изменения качества воды и состояния водных ресурсов Ладожского озера и других водных объектов Северо-запада России на основе использования методов математического моделирования

6.2.1 Описание проблемы, необходимость ее решения на научной основе

Ладожское озеро является крупнейшим по площади озером Европы и десятым в мире по запасу пресной воды. Озеро является безальтернативным источником питьевого водоснабжения Санкт-Петербурга с его более чем пятиmillionным населением. Водные ресурсы Ладожского озера и его водосбора играют чрезвычайно важную роль в обеспечении жизнедеятельности населения и функционирования промышленности и сельского хозяйства всего северо-западного региона России. Экологическая ситуация в Ладожском озере формируется в результате сложного взаимодействия процессов, происходящих на его водосборе и в самом озере под влиянием хозяйственной деятельности и климатических изменений. Однако современная система мониторинга, и, прежде всего, ее прогностическая составляющая, в настоящее время не позволяет давать научно-обоснованные прогностические оценки изменения гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров водной массы в зависимости от возможных хозяйственных мероприятий и изменения климатических параметров.

6.2.2 Сравнение с мировым уровнем

В той или иной степени методы математического моделирования применяются для решения природоохранных и прогностических задач на всех крупных озерах Земли. Показателем соответствия научного уровня отечественных и мировых разработок в области моделирования озерных процессов может служить тот факт, что используемая в настоящее время в оперативной практике Службы погоды Германии модель FLake (Fresh Lake) является совместной разработкой Института озероведения РАН, Института водных проблем Севера РАН и Института пресноводной экологии и рыболовства Германии. Результаты применения модели для различных озер опубликованы в ведущих отечественных и международных изданиях в области математического моделирования природных процессов (Environmental Modelling and Software, 2010), экологии природной среды (Oekologia, 2007), лимнологии (Водные ресурсы, 1999, 2010, Aquatic Ecology, 2009), гидробиологии (Hydrobiologia, 1999), гидрофизики (Geophysical Research Letters, 2009) и метеорологии (Tellus A, 2012).

Однако, если модель FLake в качестве метода учета влияния озер на формирование локальных климатических условий широко внедрена в практику численного прогноза

погоды в метеорологических организациях Германии, Великобритании, Канады, Португалии, США, Франции, Финляндии, Швеции и Международного Европейского Центра среднесрочных прогнозов погоды, то в России она практически не используется для решения прикладных задач..

6.2.3 Имеющийся задел

В настоящее время Институт озераедения РАН располагает:

1. Универсальной математической моделью гидротермодинамики озера FLake. В модели реализованы собственные результаты Института озераедения, полученные в ходе многолетних натуральных и лабораторных исследований, выполненных на Лимнологической станции Института, а также последние мировые достижения в области физической лимнологии. Модель применяется для решения широкого круга лимнологических проблем, служит базовым инструментом для разработки моделей функционирования водных экосистем и формирования качества воды в природных и искусственных водоемах, используется как учебное пособие при подготовке специалистов экологов и гидрометеорологов.
2. экологической параметризованной моделью FLakeEco, описывающей динамику таких основных химико-биологических параметров водной экосистемы озера, как:
 - концентрация растворенного в воде кислорода;
 - концентрация биогенных элементов в водной массе озера;
 - первичная продукция фитопланктона;
 - интегральная биомасса фитопланктона.
3. обширным архивом данных многолетних натуральных наблюдений на Ладожском озере, включающим в себя метеорологические, гидрологические и химико-биологические наблюдения.

6.2.4 Основные этапы решения проблемы и стоящие задачи

Цель исследования – разработка средств (математических моделей) для оценки и прогноза изменения качества воды и состояния водных ресурсов Ладожского озера и других водных объектов Северо-запада России в зависимости от антропогенных и климатических воздействий.

Основные задачи предстоящих этапов исследований:

- 1) Создание единой моделирующей системы для оценки и прогноза возможных изменений качества водных ресурсов Ладожского озера. В рамках данного

направления на основе опыта математического моделирования, накопленного в Институте, предполагается:

- адаптировать к условиям Ладожского озера трехмерную математическую модель термогидродинамики внутренних водоемов, разработанную в Институте Вычислительной математики РАН (ИВМ РАН);
- разработать единую трехмерную математическую модель водной экосистемы для диагностики и прогнозирования возможных экологических рисков, возникающих в результате антропогенных и климатических воздействий на систему «водосбор – Ладожское озеро»;
- по данным натурных наблюдений выполнить тестирование единой модели и оценить ее адекватность реальным процессам, протекающим в исследуемых объектах;
- создать универсальный программно-вычислительный комплекс для оптимизации методологии мониторинга водных объектов и разработки рекомендаций по снижению экологических рисков на водоемах.

2) Качественная и количественная оптимизация методов долговременного мониторинга основных тенденций изменения качества водных ресурсов Ладожского озера. В рамках данного направления предполагается:

- создать единый архив имеющихся данных натурных наблюдений за показателями качества воды в Ладожском озере;
- с применением современных статистических методов выполнить детальный анализ собранной натурной информации;
- с использованием программно-вычислительного комплекса и результатов математического моделирования разработать оптимальную схему выполнения наблюдений за основными процессами, определяющими качество водных ресурсов в системе «водосбор – Ладожское озеро».

3) Оценка антропогенных и природных угроз состоянию экосистемы и качеству водных ресурсов Ладожского озера. В рамках данного направления предполагается:

- по результатам математического моделирования и данным наблюдений выполнить анализ причин возникновения и возможных последствий развития чрезвычайных экологических ситуаций в акватории Ладожского озера;
- оценить последствия антропогенной деятельности и возможных изменений регионального климата для природной среды и качества воды в Ладожском озере;

- разработать рекомендации по снижению экологического риска и минимизации последствий возникновения чрезвычайных экологических ситуаций в регионе.

Результаты проекта должны быть получены на основе применения современных научных и инженерных методологических основ в области рационального использования и охраны водных объектов. Методологическая основа исследования - объединение методов натуральных наблюдений, анализа данных и математического моделирования.

Имеющийся научный задел и наличие высоко квалифицированных научных кадров позволят Институту озерадения РАН решить поставленные задачи.

6.2.5 Ожидаемые результаты

- Единый архив имеющихся данных натуральных гидрометеорологических наблюдений и наблюдений за параметрами, определяющими качество водных ресурсов в системе «водосбор – Ладожское озеро», созданный с использованием современных технологий, применяемых при разработках геоинформационных систем (ГИС).
- Единая математическая модель водной экосистемы для диагностики и прогнозирования возможных экологических рисков в системе «водосбор – Ладожское озеро»;
- Универсальный программно-вычислительный комплекс для проведения экологических экспертиз, оптимизации методологии мониторинга водных объектов и разработки рекомендаций по снижению экологических рисков на водоемах.
- Методология оптимизации и повышения эффективности принятия управленческих решений, основанная на объективных результатах анализа данных натуральных наблюдений и результатах математического моделирования.

Инновационные перспективы ожидаемых результатов определяются необходимостью сохранения и рационального использования водных ресурсов в промышленно развитых регионах России. Это, прежде всего:

- Усовершенствованная система мониторинга водных объектов, включающая прогностическую компоненту, основанную на современных методах математического моделирования.
- Оптимизация водопотребления в регионе, минимизация вероятности принятия ошибочных решений при осуществлении водоохраных и иных мероприятий.

6.3 Прогноз уровня воды водной системы «Ладога-Нева-Невская губа» в условиях климатических изменений

6.3.1 Описание проблемы, необходимость ее решения на научной основе

Водная система «Ладога-Нева-Невская губа» собирает, накапливает и сбрасывает поверхностные воды с огромной территории северо-запада РФ и части Финляндии, обеспечивая питьевой и технической водой Санкт-Петербург и значительную часть Ленинградской области. Ранее выполненные исследования показали высокую чувствительность водной системы к изменениям климата и антропогенной нагрузки. Современный этап функционирования водной системы предполагает дальнейшее продолжение климатического потепления с одновременным возрастанием антропогенной нагрузки на ее водосборе. Проведенные в Институте озероведения РАН водобалансовые расчёты показали, что ожидаемое климатическое потепление будет сопровождаться значительным падением уровня Ладожского озера. Наиболее важным фактором изменения современного состояния Ладоги явится зимнее потепление, переводящее озеро на безлёдный режим. Следствием такого потепления является увеличение зимнего стока воды из озера и снижения летнего. С другой стороны, повышение уровня Мирового океана в результате климатического потепления грозит проникновением солоноватых вод Финского залива и загрязнённых вод Невской губы в Ладогу. Одновременно следует учитывать, что современное градостроительство тяготеет к освоению побережий рассматриваемой водной системы. Для обеспечения безопасности такого строительства необходимо учитывать, прежде всего, возможные изменения уровня воды в рассматриваемой системе.

6.3.2 Сравнение с мировым уровнем

Выполняемые работы по оценке динамики уровня воды в рассматриваемой системе основаны на использовании самых современных глобальных и региональных моделей климата и стохастических моделей функционирования водных систем. Поэтому полученные к настоящему моменту результаты и результаты будущих исследований вполне соответствуют мировому уровню развития научного направления, связанного с прогнозом последствий возможных климатических изменений.

6.3.3 Имеющийся научный задел

- Результаты многолетних наблюдений за гидрологическими характеристиками Ладожского озера, реки Невы и Невской губы Финского залива.

- Прогнозная оценка притока воды в Ладожское озеро со стороны водосбора, основанная на результатах математического моделирования и учитывающая возможные изменения климатических параметров в соответствии со сценариями группы ЕСНАМ.
- Теоретическое обоснование и количественная оценка возможного внутригодового перераспределения стока Невы, связанного с потеплением в регионе и сокращением продолжительности существования ледового покрова в истоке Невы.

6.3.4 Основные этапы решения проблемы и стоящие задачи

Цель исследования - прогноз уровня воды в Ладожском озере, реке Неве и Невской губе Финском заливе в условиях возможных будущих климатических изменений.

Решаемые задачи:

- Оценке тенденций изменений гидрологических характеристик водной системы «Ладога – Нева – Невская губа».
- Прогноз возможных изменений гидрологических характеристик рассматриваемой водной системы по наиболее вероятным сценариям изменений климата.
- Разработка научно обоснованных рекомендаций по сохранению Ладожского озера источником питьевой воды для Санкт-Петербурга и Ленинградской области в условиях возможного изменения климата в регионе.
- Разработка научно обоснованных рекомендаций по оптимизации градостроительных работ в прибрежных зонах и на намывных территориях в условиях возможного изменения климата в регионе.

Имеющийся научный задел и наличие высоко квалифицированных научных кадров позволят Институту озераведения РАН решить поставленные задачи.

6.3.5 Ожидаемые результаты:

- Рекомендации по сохранению Ладожского озера источником питьевой воды для Санкт-Петербурга и Ленинградской области в условиях возможного изменения климата в регионе.
- Рекомендаций по оптимизации градостроительных работ в прибрежных зонах и на намывных территориях в условиях возможного изменения климата в регионе.

Инновационные перспективы внедрения результатов исследования заключаются в следующем:

- Изменение судопропускного регламента реки Невы в летний период в связи с ожидаемым снижением уровня воды в реке.
- Ограничения на застройку прибрежных и намывных территорий в связи с предполагаемым подъемом уровня воды в Финском заливе и Невской губе. Оценка целесообразности проведения дальнейших намывных работ.

6.4 Разработка научных основ предотвращения токсичного загрязнения воды в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов

6.4.1 Описание проблемы, необходимость её решения на научной основе

Решение проблемы очистки воды имеет два аспекта. С одной стороны, основные интеллектуальные и финансовые усилия сосредоточены на разработке способов и технологий питьевой водоподготовки. С другой стороны, чем больше в исходной природной воде разнообразных примесей, тем сложнее её очистить. Между тем климатические изменения, природные катаклизмы и возрастающее антропогенное воздействие на окружающую среду негативным образом повлияло на биотическую систему самоочищения водоёмов. В пресноводных озерах и водохранилищах начали доминировать вредоносные гидробионты и, в частности, сине-зелёные водоросли или, так называемые, цианобактерии.

По данным международной гидрологической программы UNESCO «CYANONET», токсичное «цветение» сине-зелёных водорослей выявлено в водоемах и водотоках 65 стран мира. Зафиксировано, что в странах с холодным климатом токсиногенные цианобактерии обитают в 91% озёр, включая водоемы Великобритании, Чехии, Дании, Германии, России, Скандинавии и другие страны Балтии (Белых и др., 2013).

При массовом размножении цианобактерий или «цветении» воды образуется большое количество цианотоксинов - ядовитых вторичных метаболитов. В известный перечень этих природных веществ входят гепато-, нейро- и дерматотоксины. За вегетационный сезон каждая цианобактериальная клетка способна дать $\sim 10^{20}$ потомков. При этом концентрация цианотоксинов в воде многократно возрастает на стадии отмирания цианобактерий и последующего лизиса их клеток. Закономерно, что использование воды «цветущих» водоемов представляет угрозу для человека при численности цианобактерий $>2 \times 10^7$ клеток/л воды и вносит существенные трудности в решение проблемы чистой воды в целом.

В последние годы значительные концентрации цианотоксинов были обнаружены в воде Ладоги, являющейся источником питьевого водоснабжения Санкт-Петербурга (Voloshko et al., 2008), озера Неро, в Куйбышевском, Рыбинском, Горьковском, Чебоксарском и других водохранилищах Волги. Особенно часто отмечаются гепатотоксичные «цветения», нейротоксичные – реже. Следует особо подчеркнуть, что в водохранилищах Верхней Волги концентрации цианотоксинов варьируют от 0.13 мкг/л до >1000 мкг/л (Сиделев и др., 2014).. При этом напомним, что Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлена предельно допустимая концентрация микроцистинов

(микроцистина-LR) в питьевой воде на уровне не более 1 мкг/л (World Health Organization, 1998). В случаях превышения указанной концентрации ВОЗ рекомендует найти альтернативный источник питьевой воды.

Как правило, цианобактерии в прудах и озерах существуют в виде биопленок в сообществе с другими микроорганизмами. Регуляторный механизм («чувство кворума», QS) формирует у биопленок устойчивость к внешним воздействиям – персистентность (англ. «persistence» – живучесть). Для биопленок характерным является наличие в них растущих, мертвых и покоящихся «клеток-персистеров», последние из которых устойчивы к агрессивным факторам окружающей среды. Следует подчеркнуть, что сообщество организмов биопленок имеет нулевой экологический баланс, то есть самодостаточно. Ключевым моментом образования этих сообществ в водоемах является адгезия микроорганизмов на различных поверхностях и, в первую очередь, на мусоре и других посторонних предметах технического генезиса. Как результат, на сегодняшний день обнадеживающие результаты по предотвращению токсичного «цветения» водоемов были зафиксированы лишь в отдельных случаях (Колмаков, 2006). Тем временем актуальность предотвращения токсичного загрязнения воды в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов постоянно возрастает. Необходимость разработки соответствующих научных основ – очевидна.

6.4.2 Сравнение с мировым уровнем

Для предотвращения массового развития цианобактерий во многих странах исследовались различные варианты по снижению внутренней фосфорной нагрузки в водоемах путем откачки донных отложений, а для увеличения продолжительности их анабиоза применялась кислородная аэрация придонных слоев воды. В частности, в Швейцарии для подавления «цветения» отдельных зон Женевского озера использовался пероксид кальция. Всесторонне изучалось влияние ультрафиолетовой радиации на развитие этих прокариот. Однако экспериментальные данные свидетельствуют о существовании у цианобактерий уникальной системы защиты от УФ-радиации за счет усиления синтеза внутриклеточных антиоксидантов, внеклеточных полисахаридов и УФ-чувствительных протеинов.

В мировой практике накоплен значительный опыт по применению альгицидов в борьбе с «цветением» воды. В качестве альгицидов испытывались различные гербициды (симазин и др.), фунгициды (брестан и др.), бактерициды (содержащие активный хлор) и особенно соли меди. Широко рекламируемое швейцарское средство Sanosil Super 25, основными компонентами которого являются пероксид водорода и серебро в виде

комплекса солей, требует постоянной и дорогостоящей обработки «цветущего» водоема. Более того, перечисленные вещества, эффективно ингибируя рост цианобактерий, оказались опасными для остальных гидробионтов и приводили к гибели других организмов открытых водоемов из-за отсутствия селективности действия. Практическое применение российского препарата Микрозим «Трит Понд», содержащего от 6 до 12 видов аэробных и факультативных мезофильных микроорганизмов, также не решило данной проблемы.

Большие надежды были связаны с воплощением в жизнь гипотезы трофического каскада – теории биоманипуляций «сверху-вниз» (top-down), суть которой сводится к увеличению численности гидробионтов, потребляющих цианобактерии в пищу, и к сокращению численности организмов, поедающих конкурентов цианобактерий. К сожалению, обнадеживающие результаты были получены лишь в единичных случаях.

В целом, на сегодняшний день позитивные результаты по предотвращению токсичного загрязнения воды в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов практически отсутствуют.

6.4.3 Имеющийся задел

В Институте озераведения традиционно изучают причинно-следственные связи возникновения «цветения» и другие кризисные ситуации на пресноводных объектах. Ключевым фактором токсичного «цветения» водоемов является эвтрофирование, сопряженное с увеличением в водных средах концентраций общего фосфора и органических примесей. Показано, что в условиях прогрессирующего загрязнения водоемов сообщества биоплёнок *Nostoc commune* различных экотопов могут играть роль биофильтров – поглотителей тяжелых металлов. Методами термохимической активации гидроксидом калия и одностадийной карбонизации-активации водяным паром были получены пористые материалы из сапропелей озер Новосибирской области органического (оз. Качкулья) и органоминерального (оз. Барчин) типов, которые можно применять в качестве сорбентов в технологиях очистки воды от примесей. Обнадеживающие результаты по влиянию на «цветение» воды были получены при использовании погребенного сапропеля известкового типа с уникальными физико-химическими свойствами. Особый интерес вызвали результаты использования трепела по очистке водных сред от тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей воды.

При этом в диатомитах и трепелах, которые по существу представляют собой древние донные отложения (ДДО) Мирового океана, содержатся значительные количества микро- и нанопористых структур с высокой фильтрационной и сорбционной активностью.

Эти ископаемые доступны и широко используются как сорбенты и фильтры в текстильной, нефтехимической и пищевой промышленности. Как сырьё для жидкого стекла и глазури. В качестве строительного тепло- и звукоизоляционного материала. Как добавки в корма для птиц, рыбы и животных.

В Институте озероведения РАН сформулировано предположение, что использование указанных ДДО позволит положительно повлиять на качество природной воды, остановить лавинообразное развитие сине-зеленых водорослей, снизить концентрации цианотоксинов в пресноводных объектах и не провоцировать появления более опасных потомков этих древнейших жителей планеты. Результаты исследований 2014 года оправдали надежды. Показано, что при использовании образцов ДДО токсичность «цветущей» воды падает до допустимых норм, количество патогенных микроорганизмов сокращается в десятки раз, значения $P_{\text{общ}}$ и концентрации органических примесей снижаются в 1.5-2 раза. После обработки «цветущей» воды образцами ДДО в водной среде остаются лишь единичные колонии цианобактерий.

6.4.4 Основные этапы решения проблемы (в будущем) и стоящие задачи

Цель настоящего исследования заключается в создании научных основ предотвращения токсичного загрязнения воды в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов. Для решения проблемы необходимо решить следующие задачи - во-первых, оценить активность образцов ДДО, которые способны остановить лавинообразное размножение сине-зеленых водорослей в пресноводных объектах и не провоцировать появления резистентных и более токсиногенных потомков и, во-вторых, снизить опасные концентрации цианотоксинов в природной воде. Основные этапы решения проблемы следующие:

- Сканирование образцов ДДО отечественных месторождений природных ископаемых на предмет максимального снижения токсичности воды образующейся в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов.
- Оценка влияния перспективного образца ДДО на микроорганизмы и ключевые показатели эвтрофирования пресноводных объектов, которые являются основными причинами развития токсичного сине-зелёного «цветения» воды.
- Определение эффективности действия перспективного образца ДДО на опытном «цветущем» водоеме для оценки экономической целесообразности его применения и экологической безопасности окружающей среды.

Имеющийся научный задел и наличие высоко квалифицированных научных кадров позволят Институту озероведения РАН решить поставленные задачи.

6.4.5 Ожидаемые результаты

Метод остановки лавинообразного размножения токсиногенных цианобактерий в водоемах страны, способствующий сохранению качественных пресноводных ресурсов. Причем использование перспективного образца ДДО не приведет к уничтожению цианобактерий, как вида прокариот. Соответствующая экологическая ниша останется занятой для появления резистентных и более опасных потомков этих долгожителей планеты (>3.5 млрд. лет).

Инновационные перспективы разработки метода предотвращения токсичного загрязнения воды в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов заключаются, во-первых, в использовании доступного отечественного природного сырья с максимальным содержанием микро- и нанопористых структур и, во-вторых, в экологической безопасности древних донных отложений для биотической системы самоочищения водоемов.

6.5 Оценка наличия, размеров и биологической активности взвешенных и отложившихся наночастиц в естественных водных объектах

6.5.1 Описание проблемы, необходимость её решения на научной основе.

Коллоидные (< 1 мкм, $1 - 1000$ нм) или наноразмерные частицы (НЧ) являются неотъемлемой частью окружающей среды. Природа этих частиц различна. К ним относятся белки, ДНК, РНК, антитела, вирусы, микроорганизмы, водоросли и биосорбенты в ряду НЧ - ассоциаты минералов, тяжелых металлов, углеводов, токсинов гидробионтов и стойких органических загрязнителей воды. Также не вызывает сомнений, что искусственные НЧ будут попадать в окружающую среду при получении, обработке, перевозке, использовании и утилизации искусственных НМ. Особо остро стоит вопрос о попадании в окружающую среду отходов и остатков медицинских препаратов, содержащих НЧ. В отличие от более крупных объектов того же состава, НЧ существенно легче вступают в химические взаимодействия с другими компонентами окружающей среды. НЧ по сравнению с клетками более подвижны и способны проникать в межклеточные структуры и в сами клетки за счет диффузии через мембраны, фагоцитоз и последующий эндоцитоз. Уровень проникновения НЧ через клетки желудочно-кишечного тракта человека (эффективная площадь 200 м^2) существенно выше, чем через клетки легких (140 м^2) и неповрежденную поверхность кожи. Следовательно, поступление в организм человека воды, содержащей НЧ, может приводить к трудно предсказуемым и достаточно печальным последствиям. Попадая в ткани, клетки и органеллы живых организмов, НЧ могут играть роль катализаторов образования токсичных веществ, даже если сами они безопасны.

Репрезентативных данных о влиянии абиотических и биотических факторов на свойства и миграцию НЧ в континентальных водоемах недостаточно. Причем известно, что НЧ обладают совершенно иными физико-химическими и биологическими свойствами в сравнении с веществами в обычном состоянии. Для них характерны необычайно высокие значения величин удельной поверхности, кривизны поверхности, свободной поверхностной энергии и напряженности электростатического поля у поверхности. Как результат, сорбционная емкость, механизм миграции, стабилизации, агрегации, растворения и деградации НЧ в значительной степени определяется их формой, размером, составом и свойствами дисперсионной среды, в рассматриваемом случае - природной пресной воды. Высокорастворимые поверхности НЧ легко адсорбируют из окружающей среды различные примеси. Адсорбция веществ непосредственно обусловлена их зарядом и зарядом поверхности частиц. В целом, НЧ многих видов обладают способностью к

адсорбции больших количеств ионов тяжелых металлов, углеводов, молекул стойких органических загрязнителей и других экотоксикантов.

Учитывая актуальность и практическую значимость решения проблем, связанных с оценкой наличия частиц наномасштабного диапазона в естественных водных объектах, требуется очень серьезное исследование, направленное на разработку прежде всего методики измерения размеров наночастиц в условиях очень широкого диапазона их изменения.

6.5.2 Сравнение с мировым уровнем

Зарубежные ученые в настоящее время ведут обширные исследования поведения и биологической активности НЧ, особенно касающиеся воздействия их на организм человека и других живых существ. В частности, зафиксировано, что НЧ диоксида титана (5 нм, суспензия на основе дистиллированной воды) при попадании в желудочно-кишечный тракт приводят к воспалению почек, печени и легких, вызывая гибель, к примеру, лабораторных мышей в дозах $LD_{50} = 150$ мг/кг. Более того, в присутствии НЧ TiO_2 при дополнительном облучении светом в клетках рыб, грызунов и человека разрушаются молекулы ДНК (Vevers, 2008). Показано, что токсичность НЧ оксидов металлов уменьшается в ряду $ZnO > SiO_2 > TiO_2$ при следующих значениях летальных доз для дафний (*Daphnia magna*) – $LD_{100}(ZnO) = 0.5$ мг/л, $LD_{70}(SiO_2) = 10$ мг/л, $LD_{40}(TiO_2) = 20$ мг/л (Adams, 2006). Причем значения токсических доз искусственных и природных НЧ в значительной степени зависят от способа их диспергирования и свойств дисперсионных сред (Loverm, 2006). В естественных условиях – от гидрологического режима водоёма. Результатами зарубежных исследований подтверждено, что НЧ могут попадать в организм человека через желудочно-кишечный тракт, ингаляционным путем, кожу и приводить к появлению различных заболеваний (Oberdorster, 2005).

Также показано, что водные экосистемы отличаются богатым разнообразием различных видов НЧ. Однако до сих пор вопросы взаимосвязи этих объектов между собой в природной воде и влияния этого процесса на биоценоз водоёма остаются открытыми. Более того, не существует надежной методики оценки размеров взвешенных и отложившихся НЧ в естественных водных объектах, поскольку прямые стандартные способы измерений, используемые для частиц крупностью более 1 мкм в данном случае не применимы. В этой связи, в зарубежной литературе крайне недостаточно ссылок на работы по оценке размеров частиц во всем диапазоне изменения размеров НЧ.

ИНОЗ РАН в последнее время активно включился в данную работу (Румянцев и др., 2013; Поздняков и др., 2012). Полученные предварительные результаты позволяют

считать, что проведенные работы выполнены на высоком мировом уровне и их дальнейшее развитие может вывести российские разработки в области исследования НЧ в естественных водных объектах в число передовых в мире.

6.5.3 Имеющийся задел

В ходе исследований Института озероведения РАН в Ладожском озере и прудах Санкт-Петербурга выявлено значительное количество разнообразных НЧ, зафиксированных с помощью зондового микроскопа высокого разрешения (“NT-MDT”) и другими приборами (Румянцев и др., 2013; Поздняков и др., 2012). Проведенные оценки размеров частиц при этом позволили выполнить детальный критический анализ применимости различных методов и приборов для измерения размеров частиц для условий естественных водных объектов, выявить основные проблемы при их производстве. В результате получен общий алгоритм измерений размеров частиц для данных условий с использованием существующих методов и приборов в различных диапазонах крупности в зависимости от поставленной конкретной задачи.

6.5.4 Основные этапы решения проблемы (в будущем) и стоящие задачи

Цель настоящего исследования заключается в разработке метода измерения размеров наночастиц в естественных водных объектах, охватывающем, по- возможности, весь диапазон изменения их крупности для оценки степени безопасности водоемов и водотоков с учетом биологической активности частиц.

Основные этапы решения проблемы следующие:

- Проведение сравнительных тестовых измерений размеров НЧ различными приборами в условиях большого диапазона изменения их крупности, характерного для естественных водных объектов
- Разработка универсального метода измерения размеров НЧ, применимого для всего диапазона.

Имеющийся научный задел и наличие высококвалифицированных научных кадров позволят Институту озероведения РАН решить поставленные задачи.

6.5.5 Ожидаемые результаты

- Метод измерения размеров НЧ, применимый для всего диапазона изменения их размеров, встречающегося в естественных водных объектах.
- Рекомендации по применимости различных приборов и устройств для измерения размеров НЧ, в зависимости от конкретных задач.

- Предложения по организации системы мониторинга экологической безопасности, использующей разработанные методы и подходы оценки наличия и размеров НЧ в водных объектах и их биологической активностию

Инновационные перспективы

- Разработка диагностики заболеваний, основанная на оценке размеров НЧ в питьевой воде.
- Внедрение системы мониторинга экологической безопасности, использующей разработанные методы и подходы оценки наличия НЧ в водных объектах

6.6 Создание ультразвуковых технологий для борьбы с цианобактериальным цветением водоемов

6.6.1 Описание проблемы, необходимость ее решения на научной основе

Проблема массового развития зеленых водорослей и цианобактерий (сине-зеленых водорослей) в озерах, прудах, каналах и реках приводит к продуцированию большого числа опасных для здоровья людей и животных сильнодействующих токсинов, снижению качества воды, нарушению эстетического вида водоемов, потере полезных для человека свойств водной экосистемы. «Цветение» или изменение окраски воды обусловлено наличием в протоплазме клеток цианобактерий пигментов - зеленого хлорофилла, желто-оранжевых каротиноидов, синего фикоцианина и красного фикоэритрина. Несмотря на относительную безопасность пигментов цианобактерий, изменение окраски природной воды, по сути, является индикатором экологической угрозы и, прежде всего, возможности образования в водоеме эндотоксинов цианобактерий. На сегодняшний день известно около 50 видов цианобактерий, продуцирующих ядовитые вещества. При этом токсичное действие цианобактерий проявляется только в тех случаях, когда их клетки разрушены.

Суть предлагаемой научно-инновационной идеи заключается в использовании постепенного воздействия ультразвукового излучения малой интенсивности в определенном диапазоне частот на цианобактерии (сине-зеленые) и зеленые водоросли не с целью разрушения клеток, а для подавления их развития.

Сейчас в водоемах Санкт-Петербурга наиболее распространены цианобактерии видов *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix agardhii* (*Oscillatoria*), *Anabaena spp*, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Woronichinia naegeliana*, из которых первые три вида токсичны. Число зараженных цианобактериями водоемов может достигать 30-35% . Поэтому использование этих городских водоемов в рекреационных целях становится крайне опасным.

6.6.2 Сравнение с мировым уровнем

Ультразвуковые устройства для борьбы с цветением водоемов уже разработаны на западе, применяются и свободно продаются во всем мире. Так устройств Thomas-Electronics продано более 15000 (<http://www.thomas-electronics.be>), LG Sonic - более 10000 (<http://www.lgsonic.com>). Однако, научные испытания устройств, излучающих ультразвук малой мощности, например, таких как Sonic Solutions и LG Sonic, не распространены (Wu et al., 2011). Значительное количество информации размещено на сайтах производителей этих устройств и в различных изданиях, преимущественно без ссылок на какие-либо

работы, без описания условий экспериментов и методик анализа. Поэтому остаются открытыми вопросы об оптимальности выбора частот, интенсивностей излучателей, удачности конструкции и энергосбережении всех этих устройств.

6.6.3 Имеющийся задел

В Институте озераведения РАН сконструирован, изготовлен и испытан в 2013-2014 годах на пруду Михайловского сада опытный образец ультразвукового устройства для борьбы с цветением водоемов. Устройство является инновационным, поскольку на основе проведенных предварительных исследований удалось максимально оптимизировать все параметры и достичь его высокой специализации для решения задач борьбы с цветением водоемов на северо-западе РФ. Выполнены следующие работы:

- собраны, обобщены и критически осмыслены все доступные литературные данные об ультразвуковых методах борьбы с цветением водоемов;
- проведен патентный поиск;
- разработана методика моделирования ультразвукового воздействия на культуры цианобактерий в лабораторных условиях;
- в лабораторных условиях в аквариумах изучено воздействие ультразвука на культуры цианобактерий, определены оптимальные технические характеристики излучателя и наиболее эффективные параметры ультразвукового воздействия (комбинации частот, интенсивности излучения и др.);
- изготовлен опытный образец ультразвукового устройства;
- в бассейнах ООО «Концерн ОКЕАНПРИБОР» изучены его технических характеристики (диаграмма направленности, амплитудно-частотная характеристика, акустическое давление и др.);
- выполнена ОКР и готовится проектно-сметная документация;
- в 2013-2014 гг. опытный образец проработал по 4 месяца в летне-осенний период в течение всего вегетационного периода водорослей в пруду Михайловского сада;
- гидробиологический и гидрохимический мониторинг воды Михайловского пруда, проведенный во время работы опытного образца, показали более чем в два раза снижение хлорофилла-а и количества цианобактерий в образцах воды из экспериментальной части пруда по сравнению с контрольной;
- продолжаются лабораторные исследования механизмов воздействия ультразвукового излучения на клетки цианобактерий.

6.6.4 Основные этапы решения проблемы и стоящие задачи

Цель работы – разработка метода и средств ультразвукового подавления цианобактерий в городских водоемах. Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

- Завершены работы над проектной документацией на опытный образец ультразвукового устройства и подана заявка на патент;
- Продолжены исследования механизмов воздействия ультразвукового излучения малой интенсивности на клетки цианобактерий в различных зонах источника;
- Разработана антивандальную версию ультразвукового устройства для установки на водоемах не находящихся под охраной;
- Разработана линейка устройств различной мощности, учитывающих размеры водоема;
- Изготовлена малая партия ультразвуковых устройств для установки их на водоемах города, более детально оценена эффективность разработанной методики подавления роста наиболее часто встречающихся видов цианобактерий в различных геоэкологических условиях;
- Установка ультразвуковых устройств на охраняемых прудах (Президентский дворец, Михайловский сад, Летний сад и др.).

Имеющийся научный задел и наличие высоко квалифицированных научных кадров позволят Институту озераведения РАН решить поставленные задачи.

6.6.5 Ожидаемые результаты

На территории Санкт-Петербурга насчитывается около 100 водоемов на берегах которых отдыхают горожане. Примерно в 35 из них отмечено цианобактериальное цветение. Учитывая, что эти водоемы используются населением города в целях рекреации, можно говорить о серьезной экологической опасности. Общее количество водоемов в городе достигает 300. Разработка и производство серии ультразвуковых установок в антивандальном исполнении позволит решить проблему предотвращения цветения водоемов. Общее количество водоемов требующих защиты от цветения только на территории северо-западного Федерального округа РФ достигает нескольких тысяч, по всей России – 15000, что определяет востребованность ультразвукового устройства на рынке. Обустройство водоемов Санкт-Петербурга ультразвуковыми устройствами предотвращающими цветение цианобактерий повысит качество воды в водоемах. Это улучшит экологическую обстановку, сделает зоны рекреации более привлекательными

для жителей города. Понизит опасность заражения кожными заболеваниями, желудочно-кишечными и нервно-мышечными расстройствами вплоть до смертельных исходов, а также снизит вероятность появления хронических патологий опасных для здоровья горожан.

Инновационные перспективы

Разработанный опытный образец ультразвукового устройства изготовлен на базе отечественных акустических и радиотехнических компонентов и может быть легко реализован в технических, технологических и производственных условиях небольшого предприятия. Зона воздействия ультразвукового излучения на цианобактерии данного опытного образца простирается до расстояния в 450 метров.

Режим излучения опытного образца ультразвукового устройства для борьбы с цветением водоемов был получен после многочисленных лабораторных экспериментов с культурами водорослей в аквариумах и является ноу-хау. Инновационная методика излучения и конструкция ультразвукового устройства являются оригинальными и будут запатентованы.

Объем инвестиций для организации производства ультразвуковых устройств составит несколько (2-3) млн. рублей. Уменьшить размер инвестиций можно за счет передачи производства в частную компанию (ООО или ОАО), занимающуюся мелкосерийным производством электронной аппаратуры. Количество штатных единиц будет зависеть от количества заказов и может составить 6 – 10 человек. Первая партия из 10 приборов будет стоить около 3400 тыс. руб. Стоимость ультразвукового устройства при мелкосерийном производстве в зависимости от дальности его воздействия на цианобактерии и исполнения составит около 290 -350 тыс. рублей.

6.7 Разработка основ практического использования альгицидных, антимикробных, фунгицидных, ароматических и других свойств низкомолекулярных органических соединений водных растений

6.7.1 Описание проблемы, необходимость ее решения на научной основе

Низкомолекулярные органические соединения (НОС), продуцируемые водными растениями играют очень важную роль в различных процессах, протекающих в водных экосистемах и влияют на состав и особенности развития водных биоценозов (Fink, 2007). Среди важнейших функциональных проявлений действия НОС в первую очередь, должны быть упомянуты аллелопатические взаимодействия. Известно, что массовое развитие цианобактерий, продуцирующих геосмин и 2-метилизоборнеол, вызывающих землисто-плесневый запах воды, приводит к серьезному ухудшению качества питьевых ресурсов (Сиренко, Козицкая, 1988). В связи с этим значительное внимание в странах, где активно изучают явление аллелопатии в водных экосистемах, уделяют исследованиям по разработке метода метаболитного контроля «цветения» водоемов при эвтрофировании (Hu, Hong, 2008). Многие из метаболитов водных растений являются ценными химическими соединениями и могут найти широкое практическое применение в медицине, фармакологии, косметологии, пищевой промышленности и т.д., а сами растения в данном случае могут рассматриваться как ценный природный возобновляемый ресурс. В связи с этим, очевидна необходимость широкого научного исследования закономерностей синтеза НОС водными растениями с оценкой перспектив их разнопланового практического использования.

6.7.2 Сравнение с мировым уровнем

Следует зафиксировать приоритет российской науки в начале изучения НОС макрофитов, водной аллелопатии и функциональной роли НОС в водных экосистемах (Гуревич, 1948). В частности, именно Ф.А.Гуревич (Гуревич, 19730) показал, что фитонцидная активность водных растений тесным образом связана со стадией их развития, физиологическим состоянием, местом произрастания, сезонными, водными, климатическими и другими условиями. Л. А.Сиренко и В. Н. Козицкая отмечали, что вопросы водной аллелопатии по праву относятся к числу наиболее интересных, сложных и малоисследованных проблем современной гидробиологии (Сиренко, Козицкая, 1988). За прошедшие более чем два десятилетия подобная оценка аллелопатии в водных экосистемах продолжает оставаться актуальной и для мировой науки. Так, в вышедшей недавно монографии «Cyanobacteria: Ecology, Toxicology and Management» (2013),

указывается, что аллелопатия в водных местообитаниях существенно менее изучена, чем это явление в наземных экосистемах среди высших растений, хотя она должна рассматриваться как важнейший регулирующий фактор динамики и состава фитопланктонных сообществ.

К сожалению, прогресс в этой области в российской науке за последние годы весьма незначительный. Подобные исследования в отношении водных экосистем в России после распада СССР перестали получать должное внимание со стороны исследователей в основном по причине отсутствия необходимого аналитического оборудования, прежде всего хромато-масс-спектрометрических комплексов. Между тем, в настоящее время в мире исследования НОС водных растений интенсивно развиваются. Наиболее высокими темпами идет развитие хромато-масс-спектрометрических исследований в отношении наземных растений, прежде всего имеющих пищевое, медицинское, фармакологическое значение и продуцентов эфирных масел. Подобных же работ в отношении водных растений в сотни раз меньше. Хотя, перспективы использования информации о НОС водных растений трудно переоценить для развития современной гидробиологии, биохимической экологии и других областей науки, связанных с изучением и рациональным использованием разнотипных пресноводных экосистем и биоресурсов. Только небольшое число макрофитов различных экологических форм (погруженные, плавающие, полупогруженные) достаточно полно исследованы с точки зрения выявления состава их НОС и их роли в аллелохимических взаимодействиях.

В странах, где активно изучают явление аллелопатии в гидроэкосистемах (прежде всего в Китае), исследуется возможность метаболитного контроля "цветения" воды с помощью аллелопатически активных метаболитов высших водных растений или микроводорослей (или их синтезированных аналогов). По принципу аллелопатического воздействия можно предупредить или ограничить массовое развитие цианобактерий (синезеленых водорослей), которое приводит к "цветению" водоемов. Реализация этого исследовательского направления сулит огромные выгоды, поскольку позволит решить проблему "цветения" водоемов без негативных последствий для других компонентов экосистемы.

К настоящему времени принимается, что извлечение аллелохимиков из растений и их дальнейшее применение в водоемах является наиболее перспективным методом из-за его удобства и быстрого эффекта. Преимуществом является то, что аллелохимические агенты, полученные из макрофитов, являются естественными альгицидами и лишены тех недостатков искусственных, которые упоминались выше. В связи с этим, достаточно аргументированной выглядит позиция многих авторов, утверждающих, что природные

аллелохемики смогут заменить техногенные гербициды и альгициды или, во всяком случае, значительно сократить их использование. Исходя из данной позиции, крайне актуальными в настоящее время становятся работы по обнаружению, идентификации, выделению, разделению и синтезу природных аллелохемиков и их аналогов, которые могут быть использованы для управления развития первичного автотрофного звена в водных экосистемах. Здесь мы имеем в виду как аллелохемики макрофитов, так и самих водорослей, которые также могут найти применение для борьбы с другими видами водорослей и цианобактерий. Аллелохимические агенты могут быть извлечены из растительной биомассы, но также могут быть произведены и их синтетические аналоги, которые позволят сократить потребление природных ресурсов растительного сырья. Эффективность синтетических аллелохемиков может быть аналогичной их природным аналогам, а сами они могут быть улучшены в процессе совершенствования технологий их синтеза. Таким образом, синтетический метод является перспективной альтернативой использованию природных альгицидов.

Вместе с тем, следует отметить, что на настоящем этапе развития метаболитного метода контроля водорослевых и цианобактериальных «цветений» пока нет примеров доведения до реального (промышленного) использования аллелохемиков макрофитов для снижения «цветения» водоемов, имеются только лабораторные разработки. Хотя, существует достаточное количество случаев использования аллелопатии (в том числе НОС) в сельском хозяйстве.

Таким образом, можно констатировать, что в последние годы в мире (за исключением России, к сожалению) исследования НОС и аллелопатии в водных экосистемах очень быстро развиваются. С получением новых знаний и результатов использование НОС водных растений обещает стать одним из наиболее перспективных методов сокращения «цветения» водоемов в сочетании с другими методами контроля, из которых важным, необходимым и обязательным останется сокращение поступления биогенов в водные экосистемы.

6.7.3 Имеющийся задел

При участии специалистов Института озераведения РАН впервые проведен хромато-масс-спектрометрический анализ эфирных масел некоторых водных растений, в которых обнаружены от 38 до 236 и идентифицировано от 36 до 218 летучих низкомолекулярных органических веществ. Впервые показано, что количество компонентов в эфирном масле *Potamogeton pusillus* зависит от сезона и изменяется от 85 до 118 веществ, причем постоянно на протяжении всей вегетации встречаются только 73

соединения. Выявлены некоторые виды водных макрофитов, в которых содержание ценных в практическом отношении НОС достигает значительных величин, что делает эти виды ценными с точки зрения использования их как ценный возобновляемый растительный ресурс. Проведен теоретический анализ идентифицированных летучих низкомолекулярных соединений в плане их биологических и экологических функций. Накоплен значительный первичный фактический материал по составу НОС представителей семейства Potamogeton и ряда других макрофитов, вегетирующих в Ленинградской, Астраханской и Ярославской областях (Курашев и др., 2012; 2013; 2014). Кроме того, исследован компонентный состав растворенных метаболитов в культуральных средах некоторых зеленых и синезеленых водорослей. Показана видоспецифичность состава экзометаболитов, дана характеристика потенциальной биологической активности идентифицированных соединений (Kirpenko, Kurashov, Krylova. 2012). Методом хромато-масс-спектрометрии проведены исследования экзогенных метаболитов накопительной культуры альго-бактериальных сообществ, развивающихся в лабораторных условиях. Экзометаболиты микроводорослей и цианобактерий, находящиеся в культуральной среде, были представлены насыщенными, ненасыщенными и ароматическими углеводородами, карбоновыми кислотами, фенольными и терпеновыми соединениями и их (Батаева, Курашов, Крылова, 2014).

Указанные выше новые оригинальные результаты, полученные с использованием как традиционных, так специально разработанных методов по сбору, пробоподготовке первичного материала и выполнению аналитических процедур, включая хромато-масс-спектрометрические исследования, являются научным заделом к предлагаемому проекту.

6.7.4 Основные этапы решения проблемы и стоящие задачи

Основная цель данной работы - разработать научные основы и рекомендации по практическому использованию альгицидных, антимикробных, фунгицидных, ароматических и других свойств низкомолекулярных органических соединений водных растений, как нового ценного биологического ресурса.

Можно выделить следующие основные задачи, связанные с изучением НОС водных растений, на решение которых должны быть направлены усилия:

- разработка методологии исследования НОС водных растений и исследования аллелопатии в водных экосистемах;
- установление компонентного состава НОС у водных растений;
- установление и изучение факторов, влияющих на биосинтез НОС (эта информация особенно скудна);

- исследования проявления аллелопатии со стороны макрофитов в отношении водорослей;
- исследования проявления аллелопатии со стороны водорослей в отношении макрофитов, и между водорослями;
- исследования других, кроме аллелопатии, функций НОС в водных экосистемах;
- поиск наиболее перспективных аллелохемиков;
- изучение механизмов действия аллелохемиков на водные растения;
- разработка метаболитного метода контроля развития водорослей (предупреждение цветения) по принципу аллелопатического воздействия;
- использование НОС водных растений для получения природных антимикробных, фунгицидных и альгицидных препаратов;
- изучение роли НОС в процессах самоочищения водоемов от патогенной микро - и микофлоры;
- поиск и рекомендация к использованию отдельных НОС водных растений и отдельных видов водных растений как продуцентов НОС в различных практических областях (медицине, фармакологии, косметологии, пищевой промышленности и т.д.).

Имеющийся научный задел и наличие высоко квалифицированных научных кадров позволят Институту озераведения РАН решить поставленные задачи.

6.7.5 Ожидаемые результаты

В результате выполнения исследований НОС водных растений:

- впервые будут получены данные по компонентному составу НОС (с идентификацией до химической формулы) и их концентрациям у неисследованных ранее высших водных растений, произрастающих в различных географических регионах на территории России (Ленинградская, Астраханская, Ярославская, Вологодская области, республика Карелия);
- будут выявлены взаимосвязи между развитием фитопланктона, наличием макрофитов и составом НОС в пресноводных экосистемах, проведена оценка значения аллелопатии для формирования структуры альго-бактериального сообщества в пресноводных водоемах;
- впервые будут получены данные по изменчивости состава НОС эфирного масла водных растений в зависимости от сезона и географической зоны произрастания растений;
- впервые будут получены данные по изменению состава и концентрации НОС в растениях (эндометаболиты) и воде водоемов (экзометаболиты) в зависимости от

влияния биотических факторов (сезон и фаза вегетации, распределение в разных вегетативных органах, гидробиологическое окружение);

- будет выявлено впервые влияние антропогенного фактора (эвтрофирование, загрязнение) на биосинтез НОС водными макрофитами;
- будет оценен аллелопатический потенциал выявленных НОС (как отдельных соединений, так и их комплексов) в отношении пресноводных водорослей и цианобактерий;
- будут получены данные по антибактериальной активности комплексов выделенных НОС;
- будет проведена сравнительная оценка отдельных видов высших водных растений по их аллелопатическому потенциалу;
- НОС водных растений будут использованы для изучения трофических связей водных беспозвоночных;
- будут разработаны основы инновационного метода оценки экологического состояния пресноводных водоемов и его изменения во времени по составу и содержанию НОС;
- будут даны рекомендации по практическому инновационному использованию НОС водных растений.

Инновационные перспективы предлагаемых исследований прежде всего связаны с:

- разработкой метаболитного метода контроля развития водорослей и цианобактерий в водоемах (предупреждение цветения) по принципу аллелопатического воздействия. Преимуществом данного метода является то, что аллелохимические агенты, полученные из водных растений, (или их синтетические аналоги), являются естественными альгицидами и лишены недостатков искусственных. Кроме того данный метод предполагает точное воздействие на определенный вид или виды водорослей и цианобактерий, что является большим преимуществом по сравнению с неселективными химическими и физическими методами воздействия на гидробионтов. Природные аллелохемики смогут заменить техногенные гербициды и альгициды или, во всяком случае, значительно сократить их использование;
- использованием НОС водных растений для получения эффективных природных антимикробных, фунгицидных и альгицидных препаратов для медицины, фармакологии и инженерной экологии;
- использованием отдельных НОС водных растений в косметологии и парфюмерии. Водные растения являются возобновляемым природным ресурсом, многие из перспективных в практическом отношении видов являются обильными и широко распространенными, что позволяет рассматривать их как альтернативу более дорогим и ограниченным источникам сырья для получения ценных соединений.

6.8 Разработка теории использования ультразвуковых кавитационных технологий при водоподготовке и водосбросе

6.8.1 Описание проблемы, необходимость ее решения на научной основе

Высокое качество питьевой воды при водоподготовке и высококачественная водоочистка сбрасываемых вод являются в настоящее время важнейшими критериями, определяющими работу Водоканалов и обеспечивающими жизнедеятельность населения и работоспособность предприятий страны. При водозаборе из источников на водоочистные станции часто поступает вода с биологически опасными объектами (токсичными водорослями, вирусами и др.), солями тяжелых металлов, растворенными в ней лекарственными препаратами, большим количеством взвеси, в том числе и наночастицами опасных размеров. Используемые методы водоподготовки до конца не могут очистить воду от многих из перечисленных выше загрязнителей и, дополнительно, требуют большого расхода дорогих флокулянтов и коагулянтов. При водосбросах также возникают проблемы с высоким остаточным содержанием хлора вредного для окружающей среды, а также присутствием токсигенных бактерий в воде после ее очистки.

Сказанное является подтверждением необходимости поиска дальнейших путей улучшения степени обеззараживания очищаемых водных масс. Одним из направлений исследований в указанной области является использование ультразвука, который достаточно давно применяется в технике и медицине для диагностики, визуализации подводных объектов, для очистки поверхностей и в других системах (Агранат, 1987). Использование современных комбинированных ультразвуковых устройств работающих на основе эффекта кавитации и встроенных на определенных этапах в процессы водоподготовки и водоочистки позволяют решать проблемы обеззараживания воды.

6.8.2 Сравнение с мировым уровнем

Для повышения эффективности обеззараживания зарубежные производители оборудования предлагают применять дополнительную обработку воды ультразвуком совместно с окислителями и ультрафиолетовым облучением (Blume, 2005). Имеются сведения о возможности использования ультразвука как дополнительного метода обеззараживания и как способа повышения эффективности традиционной технологии с точки зрения концепции создания множественных барьеров при обеззараживании (Jyoti, 2003). При этом показано, что ввиду особой опасности контактного воздействия ультразвука на людей, технологический процесс ультразвуковой обработки должен полностью исключать такую возможность (Эльпинер, 1963).

Недостатки качества водоподготовки преодолеваются путем дополнительного применения на водоводе ультразвуковых установок. Следует заметить, что относительно недавно немецкой компанией Gruenbeck была разработана инновационная комплексная система водоочистки GENO-break®. Эта новаторская система использовала ультразвуковую технологию компании Hielscher в сочетании с ультрафиолетовым излучением и, в частности, решила проблему патогенных легионелл в более чем 120 установках водоснабжения в Германии.

Следует выделить британскую фирму «Biwater», которая предлагает установки для подготовки и очистки воды почти в 100 странах. Среди крупных поставщиков – компания «Wallace & Tiran» (Великобритания), украинско-британско-финское СП «HT-Engineering», фирмы «Eurowater» (Дания), «Nijhuis WT» (Нидерланды). Очистное оборудование – специализация чешских («Veolia Voda», «Fortex-AGS», «Stopra», «IWET») и словацких («Vanex Spol», «Ecoprogress») компаний. Польские фирмы заметны в сегменте использования оборудования большой мощности. Так, варшавская «PP-ЭКО» предлагает инновационные установки анаэробной очистки, системы аэрации и обезвоживания. Американские корпорации «KWI» и «Aqua Smart» – услуги по очистке сточных вод, водоподготовке, разработке соответствующих технологий, а также очистители воды от металлов. Германская группа фирм представлена химическими и инновационными компаниями «Koch MS», «Prominent Dosierttechnik», «Silcarbon Aktivkohle», «WILO». К сожалению, отечественных аналогов такого рода установок пока нет.

6.8.3 Имеющийся задел

В 2012-2014 гг. в Институте озераведения РАН проведены исследования влияния ультразвуковой кавитации на различные типы биологических и химических загрязнителей воды. Были определены основные направления исследований и поставлены многочисленные эксперименты с проточными кавитационными ультразвуковыми установками. Было показано, что на предварительных этапах водоподготовки должны быть достигнуты следующие показатели:

- разрушены находящиеся в воде биологически опасные объекты (микробы, вирусы, цианобактерии, зеленые водоросли и др.);
- снижена токсичность ряда цианотоксинов (анатоксинов, микроцистинов, нодуляринов, сакситоксинов и цилиндропермозинов), а также солей тяжелых металлов;
- разрушены фосфолипидов и целлюлозы (хитозан), входящие в структуру внешних клеточных оболочек цианобактерий и водорослей;

- интенсифицированы химические реакции, связанные с добавлением в очищаемую воду коагулянтов и флокулянтов, ускоряющие процесс агрегации взвесей.
- нейтрализованы токсигенные бактерии, содержащиеся в воде сброса.

Удалось добиться снижения токсичности ряда цианотоксинов (анатоксинов, микроцистинов, нодуляринов, сакситоксинов и цилиндропермозинов), а также солей тяжелых металлов. Показано, что при ультразвуковой обработке водных сред происходит распад модельных фосфолипидов и целлюлозы (хитозан), входящих в структуру внешних клеточных оболочек цианобактерий и водорослей. Ультразвуковая обработка воды ускоряет агрегацию взвесей и снижает количество наночастиц с размером менее 100 нм особо опасных для здоровья людей.

6.8.4 Основные этапы решения проблемы и стоящие задачи

Цель исследования – разработка ультразвуковых кавитационных технологий доочистки воды и их внедрение в системы водоподготовки и водосброса. Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

- проведены дополнительные исследования с целью оптимизации параметров эффективного кавитационного воздействия на биологические и химические загрязнители питьевой воды;
- определено место установок комбинированного кавитационного воздействия в технологии водоподготовки и водоочистки;
- применительно к условиям работы на Водоканале оптимизированы конструкции используемых кавитационных излучателей;
- разработаны критерии и методики оценки эффективности применяемых кавитационных установок при их эксплуатации в условиях водоподготовки и водоочистки;
- подготовлены рекомендации по применению ультразвуковых комбинированных кавитационных установок в различных условиях эксплуатации.

Имеющийся научный задел и наличие высоко квалифицированных научных кадров позволят Институту озераведения РАН решить поставленные задачи.

6.8.5 Ожидаемые результаты

В результате проведенных исследований будут созданы комбинированные ультразвуковые установки, работающие на основе кавитации, использование которых в процессах водоподготовки и водоочистки в обоих случаях существенно повысит качество

воды. Комбинированные ультразвуковые установки потребляют меньше энергии, что позволит снизить затраты на очистку воды, а также уменьшить расход реагентов (коагулянта и флокулянта), сократить время агрегации взвесей и привести к норме содержание остаточного хлора в воде.

Инновационные перспективы

Разработанные комбинированные ультразвуковые установки могут быть использованы в государственных и частных организациях занимающихся водоподготовкой питьевой воды и очисткой стоков.

Использованные в разработке методика излучения и конструкция комбинированного ультразвукового устройства являются оригинальными и будут запатентованы. Стоимость опытного образца установки составляет около 4 млн. рублей. В дальнейшем, при производстве серийных установок, стоимость упадет в несколько раз.

Объем инвестиций для организации производства потребует проведения дополнительных оценок, поскольку необходимо привлечение достаточно серьезных производств для изготовления серийных установок.

Таким образом, в контексте инновационного развития российской экономики, теоретико-методологические разработки ИНОЗ РАН имеют значение не только для Северо-западного федерального округа РФ, но и представляют интерес для обеспечения устойчивого технологического развития других регионов России.

Действительно, как видно из представленных выше материалов, исследования ИНОЗ РАН посвящены приоритетным направлениям развития науки и технологий, утвержденных Президентом и Правительством РФ. Так, в работе использованы инновационные информационно-коммуникационные технологии, достижения наук о жизни (биотехнологии, медицина и здравоохранение), новые материалы и нанотехнологии, принципы рационального природопользования, возможности космических систем и энергосбережения. В этой связи в перечень наиболее перспективных направлений развития фундаментальных научных исследований СПбНЦ РАН могут быть включены следующие работы ИНОЗ РАН:

- Разработка методов оценки биогенной нагрузки на крупные водоемы северо-запада России с использованием аэрокосмической информации о структуре подстилающей поверхности водосбора

- Оценка основных тенденций изменения качества воды и состояния водных ресурсов Ладожского озера и других водных объектов Северо-запада России на основе использования методов математического моделирования.
- Прогноз уровня воды водной системы «Ладога-Нева-Невская губа» в условиях климатических изменений
- Разработка научных основ предотвращения токсичного загрязнения воды в результате сине-зелёного «цветения» пресноводных объектов
- Оценка размеров наночастиц в естественных водных объектах и возрастания их биологической активности в связи с уменьшением размеров.
- Создание ультразвуковых технологий для борьбы с цианобактериальным цветением водоемов.
- Разработка основ практического использования альгицидных, антимикробных, фунгицидных, ароматических и других свойств низкомолекулярных органических соединений водных растений.
- Разработка теории использования ультразвуковых кавитационных технологий при водоподготовке и водосбросе

Не вызывает сомнений, что имеющийся научный задел и наличие высококвалифицированных научных кадров позволит ИНОЗ РАН решить перечисленные выше задачи. В этих исследованиях в целом задействовано 25 докторов наук, 32 кандидата наук и 15 аспирантов. Количество соответствующих публикаций, вошедших в систему РИНЦ, составляет 360 с общим количеством цитирований 1134. Работы ИНОЗ РАН тесно связаны с ведущими образовательными учреждениями региона – СПб академическим университетом РАН, СПбГУ и Ленинградским государственным университетом им. А.С.Пушкина. Широко используется материально-техническая база практически всех институтов СПбНЦ РАН, включая Институт экспериментальной медицины и Агрофизический НИИ.

Список библиографических источников

1. Агранат Б. А., Дубровин М. Н., Хавский Н.Н., Эскин Г.И. Основы физики и техники ультразвука. М.: Высшая школа, 1987. 352 с.
2. Батаева Ю.В., Курашов Е.А., Крылова Ю.В. Хромато-масс-спектрометрическое исследование экзогенных метаболитов альго-бактериальных сообществ в накопительной культуре // Вода: химия и экология, 2014. № 9. С. 58–67.

3. Белых О.И., Гладких А.С., Сороковикова Е.Г., Тихонова И.В., Потапов С.А., Федорова Г.А. Микроцистин-продуцирующие цианобактерии в водоемах России, Беларуси и Украины // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. № 21. С. 363-378.
4. Гуревич Ф.А. К вопросу о взаимоотношении между растениями и эмбрионами пресноводных животных // Докл. АН СССР. 1948. Т. 59, № 3.
5. Гуревич Ф.А. Фитонциды водных и прибрежных растений, их роль в гидробиоценозах: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Иркутский гос. ун-т им. А. А. Жданова. Иркутск, 1973. 30 с.
6. Колмаков В.И. Методы предотвращения массового развития цианобактерий *Microcystis aeruginosa* Kutz emend. Elenk. в водных системах // Микробиология. 2006. Т. 75. № 2. С. 149-153.
7. Кондратьев С.А. Оценка биогенной нагрузки на Финский залив Балтийского моря с российской части водосбора / Водные ресурсы. 2011. Т.38. №1. С.56-64.
8. Кондратьев С.А., Казмина М.В., Шмакова М.В., Маркова Е.Г. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты – Региональная экология, 2011, 3-4, с.50-59
9. Курашов Е. А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г. Компонентный состав летучих низкомолекулярных органических веществ *Ceratophyllum demersum* L. во время плодоношения // Вода: химия и экология, 2012. № 6. С. 107-116.
10. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г. Динамика компонентного состава эфирного масла побегов *Potamogeton pusillus* (Potamogetonaceae) в течение вегетации // Растительные ресурсы, 2013. Т.49. Вып.1. С. 85-102.
11. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г., Чернова А.М. Летучие низкомолекулярные метаболиты водных макрофитов, произрастающих на территории России, и их роль в гидроэкосистемах // Сибирский экологический журнал. 2014. № 4. С. 573–591.
12. Поздняков Ш.Р. Проблемы расчета и измерения характеристик наносов в водных объектах. Санкт-Петербург: Лема, 2012. 226 с.
13. Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н., Смоленский А.О. Перспективы наномасштабной гранулометрии в модернизации мониторинга водных экосистем // Региональная экология. 2013. № 1-2 (34). С. 7-14.
14. Сиделев С.И., Зубишина А.А., Бабаназарова О.В., Кутузова В.Ю., Мартьянов О.В. Мониторинг содержания цианотоксинов микроцистинов в водоемах Верхней Волги: молекулярно-генетический и аналитический подходы // Вода: химия и экология. 2014. № 8 (74). С. 88-94.

15. Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наук. думка, 1988. 256 с.
16. Ульянов А.Н. Технология «Лазурь» - новый шаг в обеззараживании воды и стоков. // Вода: химия и экология. 2009. № 3. С. 11-15.
17. Эльпинер И. Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. М.: Наука, 1963. 420 с.
18. Adams L.K., Lyon D.Y., McIntosh A., Alvarez P.J.J. Comparative toxicity of nano scale TiO₂, SiO₂ and ZnO water suspensions // Water Science and Technology. 2006. № 54. P. 327-334.
19. Beasley D.B., Huggins L.F., Monke E.J. ANSWERS: A Model for Watershed Planning // Trans ASAE. 1980. V. 24. P. 938–944.
20. Blume T., Neis U. Improving chlorine disinfection of wastewater by ultrasound application // Water Science and Technology. 2005. V. 52. № 10–11. P. 139–144.
21. CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management System // U.S. Depart. of Agric. Conserv. Res. Rep. 1980. 640 p.
22. Cyanobacteria: Ecology, Toxicology and Management. (Eds: Aloysio Da S Ferrao-Filho). Nova Science Pub Inc., New York, 2013. 225 pp.
23. Donigian A.S., Crawford N.H. Water Quality Model for Agricultural Runoff // Modelling of Rivers. Wiley Int. Publ. 1979. P. 12.1–12.83
24. Fink P. Ecological functions of volatile organic compounds in aquatic systems // Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 2007. V. 40, № 3. P. 155–168.
25. Hu H., Hong Y. Algal-bloom control by allelopathy of aquatic macrophytes—A review // Front. Environ. Sci. Engin. China. 2008. V. 2, № 4. P. 421–438.
26. Jyoti K.K., Pandi A. B. Hybrid cavitation methods for water disinfection: simultaneous use of chemicals with cavitation // Ultrasonics Sonochemistry. 2003. V. 10. № 4–5. P.255–264.
27. Kirpenko N. I., Kurashov Ye. A., Krylova Yu. V. Component Composition of Exometabolites in Cultures of Some Algae // Hydrobiological Journal, 2012. V. 48. № 3. P. 59-70.
28. Lovern S.B., Klaper R.D. Daphnia magna mortality when exposed to titanium nanoparticles and fullerene (C₆₀) nanoparticles // Environmental Toxicology Chemistry. 2006. V.25. P. 1132-1137.
29. Meyer L. Evolution of the Universal Soil Loss Equation // J. Soil and Water Conserv. 1984. V. 39, N 2. P. 99–104.

30. Oberdorster G., Oberdorster E., Oberdorster J. Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles // *Environmental Health Perspectives*. 2005. № 7 (13). P. 823-839.
31. Vevers W.F., Jha A.N. Genotoxic and cytotoxic potential of titanium dioxide nanoparticles on fish cells in vitro // *Ecotoxicology*. 2008. V. 17. P. 410-420.
32. Voloshko L., Kopecky J., Safronova T. et al. Toxins and other bioactive compounds produced by cyanobacteria in Lake Ladoga. // *Estonian Journal of Ecology*. 2008. V. 57. № 2. P. 100-110.
33. World Health Organization: *Guidelines for Drinking-water Quality. Health Criteria and other supporting information*. Geneva: World Health Organization, 1998. 273 p.
34. Wu, X., Joyce, E.M., Mason, T.J., 2011. The effects of ultrasound on cyanobacteria. *Harmful Algae* 10 (2011) 738–743.

7. Развитие фундаментальных научных исследований в области биологии и медицины в Санкт-Петербурге

Развитие фундаментальных научных исследований – одна из наиболее актуальных задач, стоящих перед Россией в настоящее время. Анализ тенденций развития фундаментальной науки в мире в области биологии и медицины убедительно свидетельствует о том, что существует множество проблем, в том числе социально значимых, что ставит перед научным сообществом множество фундаментальных и практических задач: это и проблема болезней сердечно-сосудистой системы – основной причине смерти и инвалидизации населения в развитых странах, в том числе и в Российской Федерации; проблема неуклонного роста заболеваемости злокачественными опухолями, что делает ее крайне социально значимой; проблема старения организма и влияния на организм факторов окружающей среды; проблема относительно невысокой продолжительности жизни людей и постоянный рост заболеваемости болезнями с наследственной предрасположенностью; влияния на организм стресса и т.д.

Цель данного направления – выявление наиболее перспективных направлений развития научных исследований в некоторых областях медицины в мире и какие из этих направлений достойно представлены учеными Санкт-Петербурга и могут успешно развиваться в научных учреждениях нашего города.

Многие направления фундаментальных исследований в медицине являются социально значимыми, но охватить все направления в аналитическом обзоре за истекший период 2014 года не представилось возможности. Поэтому в настоящем отчете мы остановилось на некоторых направлениях.

Так, учитывая тот факт, что неуклонный рост заболеваемости злокачественными опухолями как на территории Российской Федерации, так и по всему миру делает эту проблему крайне социально значимой, перед научным сообществом стоят множество фундаментальных и практических задач. Приоритетными в разработке современных методов диагностики и лечения рака являются исследования по созданию наночастиц как лекарственных препаратов нового поколения, биологических наночипов для диагностики, медицинских нанороботов, саморазмножающихся геномов, нанорепродукции биотканей и нанопротезирования, наномодификаций биологически активных соединений, разработки по созданию устройств для диагностики заболеваний на основе комбинации чипов для атомно-силовой микроскопии и масс-спектрометрии, нанодетекторов на основе нанопроводов и биологических компакт-дисков, гибридных

векторных наносистем нового поколения для направленного транспорта терапевтических генов в нужные ткани и клетки организма.

Важно то, что в отечественной онкологии наконец-то наметился значительный прогресс, обеспеченный как достижениями фундаментальных исследований, так и успешными научно-практическими разработками. Ряд разработок российских учёных признаны выдающимися. В их числе — разработка маркеров для дифференциальной диагностики опухолей молочной железы и шейки матки; создание биологических микрочипов на основе иммуноглобулинов для диагностики лимфом и лейкозов; изучение индивидуальных особенностей метаболизма канцерогенных веществ, определяющих риск развития рака. Значительным научно-техническим достижением считают использование радиохирургического метода в нейроонкологии, фотодинамическую терапию опухолей в импульсном режиме лазерного облучения.

Многие исследования российских учёных проведены на мировом уровне, а отдельные результаты можно считать уникальными. В частности, новые схемы интенсивной цитостатической терапии в онкогематологии повысили выживаемость больных при лимфомах до 80%, что превосходит аналогичный мировой показатель.

Не менее по социальной значимости проблемой являются болезни сердечно-сосудистой системы – основной причине смерти и инвалидизации населения в развитых странах, в том числе и в Российской Федерации. Раздел 2 посвящен некоторым вопросам лечения и диагностики ССЗ. Эта проблема в равной степени затрагивает страны с высоким и низким уровнем доходов. Ежегодно от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации умирает около 1 млн. человек, что составляет 56,7% от всех зарегистрированных смертей. По оценке Всемирной организации здравоохранения к 2030 году от сердечно-сосудистых заболеваний в мире может умереть около 23,6 миллионов человек. Установление истинных причин развития заболеваний сердца и сосудов, а также механизмов их прогрессирования составляет основу современной персонифицированной медицины, которая неразрывно связана с использованием геномных, транскриптомных, протеомных и метаболомных технологий. Для целого ряда заболеваний, которые ранее рассматривались в рамках дисэмбриогенеза сердца и сосудов или признавались идиопатическими, в настоящее время установлена генетическая причина. В кардиологии наиболее ярко эта тенденция прослеживается на примере таких заболеваний, как врожденные пороки сердца, патология аорты и выходного тракта левого желудочка, кардиомиопатии, легочная артериальная гипертензия, отдельные формы нарушений ритма и даже синдром внезапной смерти. Кроме того, выявление генетической природы заболевания определяет выбор метода лечения, позволяет избежать необоснованного

применения дорогостоящих вспомогательных устройств и упрощает отбор больных на трансплантацию сердца. На смену рутинному кариотипированию в последние два десятилетия пришли таргетные молекулярные технологии, позволяющие выявить изменения генома. Благодаря этой технологии, которая быстро транслируется из научно-исследовательской сферы в клиническую практику, происходит расширение наших представлений о многообразии фенотипических проявлений классических генетических синдромов, что особенно актуально для диагностики и выбора индивидуальных методов профилактики врождённых заболеваний сердца. Персонализированный подход к диагностике и лечению сердечно-сосудистых заболеваний позволит кардинально изменить ситуацию, связанную с оказанием помощи этой категории больных, и разработать программу профилактических мероприятий.

Важнейшей проблемой является относительно невысокая продолжительность жизни людей, а для России эта проблема весьма актуальна. Постоянный рост заболеваемости болезнями с наследственной предрасположенностью (рак, сердечно-сосудистые патологии, когнитивные, нейродегенеративные, неврологические заболевания и др.), напрямую зависит от повреждающего действия различных факторов окружающей среды. В настоящее время существует значительный разрыв между Россией и развитыми странами в отношении исследований влияния неблагоприятных факторов внешней среды на механизмы возникновения и тяжести протекания болезней. Установлено, что внешние факторы оказывают действие через эпигеномные и эпигенетические механизмы, приводя к нарушениям в экспрессии генов и, как следствие, к заболеванию. В то же время даже накопленные за рубежом данные не всегда могут быть использованы для России. Это связано с ее географическим и этническим разнообразием, обуславливающим в значительной степени эпигенетические нарушения, которые могут вызывать заболевания и быть переданы между поколениями, а также привести к рождению нежизнеспособного потомства. Последнее особенно важно для России в силу невысокой рождаемости. Все это имеет непосредственное отношение к национальной безопасности.

Особо актуальны научные исследования механизмов патологий, приводящих к увеличению ССЗ, нарушениям функционирования мозга и др., связанных с влиянием неблагоприятных факторов внешней среды, как и исследование «Старение и рак: от молекулярных механизмов к средствам профилактики».

Анализ тенденций развития фундаментальной науки в мире в области биологии и медицины убедительно свидетельствует о том, что проблема «Стресс» остается в центре внимания мировой науки и привлекает к себе неослабевающий интерес в различных аспектах. К наиболее активно развивающимся и перспективным направлениям развития

научных исследований в мире по проблеме «Стресс», относятся: Нейроэндокринная регуляция стресса, Стресс и эндокринные системы, Стресс и метаболизм, Стресс и иммунная система, Стресс и висцеральные функции, Стресс и сенсорные системы, Стресс и боль, Стресс и поведение, Стресс и развитие организма, Генетические аспекты стресса (как самостоятельные, так и включенные в различные направления), Стресс и фармакотерапия. Доминирующим в большинстве направлений этих исследований является патогенетический аспект, направленный на выяснение механизмов широко распространенных патологических влияний стресса на организм. Востребованными остаются исследования, направленные на защиту представления о стрессе как изначально защитной, физиологической, реакции организма. Такие исследования могут стать перспективными для Санкт-Петербурга. Знания о механизмах физиологических эффектов стресса – основа для выяснения механизмов трансформации физиологических влияний стресса в патологические последствия.

Все приоритетные направления научных исследований в медицине и биологии – междисциплинарны, находятся на стыке наук. Это очень наглядно продемонстрировано в новом направлении приложений ядерных технологий – ядерной медицине. Термин «ядерная медицина» включает три основных направления использования ядерно-физических методов в медицине: адронная терапия, как развитие медицинской радиологии; медицинская радиография, как развитие рентгенологии; производство медицинских радиоизотопов для диагностики и терапии.

Естественно, такое разделение условно и определяется, в основном, техническими аспектами. В медицинском отношении ядерные методы получили наибольшее развитие в онкологии и диагностике. В этой высокотехнологичной области работают физики-ядерщики, радиохимики, биофизики, врачи-онкологи и радиологи, специалисты других областей знаний.

В данном разделе представлен материал о уникальных биологических коллекциях в Санкт-Петербурге, некоторые из которых не имеют аналогов не только в нашей стране, но и в мире.

Коллекция ВИРа является уникальной. В России – это единственный генный банк растительных ресурсов, собранных со всех континентов Земли, который служит стратегической базой эффективного стабильного развития не только сельского хозяйства, но и всех отраслей экономики и социальной сферы. Сохранение и развитие коллекций культурных растений является частью приоритетной межведомственной и междисциплинарной проблемы сохранения биоресурсов, биоразнообразия, укрепления био- и продовольственной безопасности России.

Уникальные фондовые коллекции Зоологического института это особым образом депонированные экземпляры животных. Они собраны многими поколениями отечественных и иностранных зоологов и представляют историческую ценность. Коллекция Зоологического института является одной из крупнейших в мире и насчитывает 60 млн. единиц хранения. В коллекциях ЗИН РАН представлены более 300 тысяч видов животных, что составляет около четверти известной мировой фауны. Коллекции ЗИН РАН являются крупнейшими в РФ и СНГ и входят в число трех крупнейших зоологических коллекций мира, наряду с Национальным музеем естественной истории (British Museum Natural History) в Лондоне и Смитсоновским институтом (Smithsonian Institute) в Вашингтоне. Для многих групп животных Северного полушария Старого Света это наиболее представительные коллекции в мире. Уникальная фондовая коллекция ЗИН РАН входит в мировую сеть уникальных зоологических коллекций как неотъемлемая часть фактической научной основы для работы зоологов всего мира.

Клеточные культуры в настоящее время интенсивно используются как один из основных объектов в исследованиях для расшифровки молекулярных механизмов жизнедеятельности клеток, в том числе молекулярной генетики человека. Кроме того, клеточные технологии отнесены к числу важнейших критических технологий, обеспечивающих инновационное развитие в области биотехнологии и экспериментальной медицины. Для обеспечения таких исследований необходим набор стандартизованных клеточных линий, что может обеспечиваться наличием специализированных банков и коллекций клеточных культур. Такая уникальная коллекция клеточных культур человека и животных была создана в Институте цитологии РАН почти сорок лет тому назад, получила успешное развитие и подтвердила необходимость своего существования широкой практической деятельностью. Она признана мировым научным сообществом и входит в состав Всемирной ассоциации клеточных коллекций.

Коллекция микроорганизмов, возбудителей бактериальных инфекций (ИЭМ РАМН). Целью данного проекта является создание первого в Северо-Западном Регионе РФ автоматизированного криохранилища микроорганизмов как центра по мониторингу возбудителей бактериальных инфекций, а также хранению индивидуальной микробиоты пациентов для последующей разработки пробиотических препаратов (в том числе аутопробиотиков) на базе ФГБУ «НИИЭМ» СЗО РАМН.

7.1 Анализ перспективных исследований в области онкологии, проводимых в Санкт-Петербурге

Цель данного исследования – анализ статуса и перспектив развития фундаментальной и прикладной онкологии в научных институтах Санкт-Петербурга на фоне мировых тенденций. По результатам анализа проведено обсуждение возможности и перспектив развития фундаментальной и практической онкологии, сделаны выводы об основных направлениях развития данной области.

В настоящее время проблема заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований остро стоит перед медицинским сообществом во всем мире. В условиях ухудшения экологической обстановки, постоянно растущего стрессового воздействия на организм человека на фоне снижения физической активности и повышения калорийности питания, в ближайшие годы рост заболеваемости будет неуклонно продолжаться. Несмотря на активные мероприятия по внедрению здорового образа жизни и ранней профилактике злокачественных новообразований, в течение последних десятилетий наблюдается медленный (0,5-1% в год), но неуклонный рост заболеваемости опухолями различного происхождения. При этом, онкологическая патология продолжает занимать лидирующие места в списке причин преждевременной смерти как в развивающихся, так и в развитых странах, что определяет кроме этических проблем, также и значительные экономические потери.

Для того, что подчеркнуть масштабы проблемы можно сказать, что совокупная смертность от злокачественных опухолей превышает суммарную от туберкулеза, малярии и ВИЧ-инфекции.

Причин для подобных негативных тенденций несколько и они во многом зависят от материальной обеспеченности каждого отдельно взятого региона. Так, в слаборазвитых странах проблема высокой смертности от злокачественных опухолей связана с низким уровнем медицинской помощи, отсутствием активных программ профилактики и информирования населения, в то время как в развитых на первый план выходит старение населения.

Основной же причиной является отсутствие эффективных методов раннего выявления, а также методов лечения, позволяющих доказано излечить заболевание или хотя бы перевести его в разряд хронических болезней с длительной медианой выживаемости. И именно проблемой поиска методов ранней диагностики занимаются ведущие онкологические центры мира:

Израиль. Медицинский центр Шиба (Тель-Авив) и его онкологические клиники. Это самый большой онкологический центр в Израиле. Серьезным шагом в его развитии стало объединение онкологического центра больницы и техасского университета MD Anderson (Америка). Благодаря слиянию с лучшей больницей Америки по мнению U.S. News & World Report, сегодня клинику Шиба часто называют лучшим медицинским учреждением мира по лечению онкологии.

Онкологический центр Ихилон, Тель-Авив. Тель-Авивский медицинский центр имени Сураски, более известный как Ихилон, считается третьим по размеру в Израиле, после клиник Шиба и центра им. Рабина.

- 1) Клиника Ассута. Эта сеть больниц в Израиле славится своими достижениями в самых разных областях медицины. Сегодня здесь лечат самые разные заболевания, в том числе онкологические.
- 2) Онкологический центр «Давидов», является одним из ведущих онкологических центров в мире и самым крупным и современным в Израиле. Это первый Израильский онкоцентр, где начали оказывать комплексную медицинскую помощь пациентам с онкологическими и онкогематологическими заболеваниями. Здесь также проводят многочисленные исследования, связанные с новыми методами ранней диагностики и лечения рака.

США. Онкологический центр имени Слоуна-Кеттеринга (Memorial Sloan-Kettering Cancer) считается одним из самых крупных мировых медицинских центров, имеющих подобную специализацию. Более века в данном центре осуществляются диагностические, профилактические процедуры, а также эффективная терапия различных видов онкологических заболеваний. Раковый центр, называемый Memorial Sloan-Kettering, находится в Нью-Йорке. Мемориальный центр имени Слоуна-Кеттеринга является лучшим онкологическим центром в мире. Это медицинское учреждение знаменито созданием и применением целостных систем борьбы с опухолевыми заболеваниями. MSKCC славится своими научными достижениями и результатами лечения, которые дают людям огромную надежду, что в скором будущем одна из самых важных проблем медицины, которой считается смертность от онкологии, все-таки благополучно решится.

MD Anderson – крупнейший онкологический центр США, неоднократно занимающий первое место в номинации "Лучшие больницы Америки" в области оказания онкологической помощи.

Научно-клинические центры США, где приоритетные направления исследований – онкологические: Massachusetts General hospital/Garvard Medical School (Бостон), Memorial Sloan Kettering Cancer Center (Нью Йорк), Johns Hopkins University (Балтимор), MD

Anderson Cancer Center (Хьюстон)

Великобритания. The Royal Marsden Hospital (Лондон) – славится своей образовательной деятельностью, является одним из лучших и прогрессивных центров в области изучения злокачественных опухолей.

Германия. Онкологические центры Германии – компетентные медицинские центры по оказанию качественной медицинской помощи больным с онкологическими заболеваниями с использованием комплексных и мультидисциплинарных терапевтических концептов. Ведущие онкологические центры расположены в 11 городах Германии: в Дрездене, в Кельне/Бонне, в Тюбингене, Гейдельберге, Берлине, Эрлангене, Эссене, Франкфурте, Гамбурге, Ульме и Вюрцбурге. Так, Charité (Берлин, Германия) – один из самых старых медицинских центров, который в частности принимает участие в изучении и злокачественных опухолей

Россия. По данным ракового регистра в 2013 году на территории РФ было выявлено более 500 тыс новых случаев заболеваний раком [1]. При этом на учете в территориальных онкологических учреждениях состоят на учете более 3 млн больных.

Ведущие учреждения: ФГБУ «Российский онкологический научный центр им. Н. Н. Блохина» (Москва) – одно из головных онкологических учреждений. Долгое время реализовывал в рамках РАМН многочисленные фундаментальные проекты. Является одним из основных учреждений формирующих программу научных исследований в области онкологии на территории РФ; Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П. А. Герцена (Москва) – старейший научно-практический центр Европы и первый онкологический институт России.

Санкт-Петербург является одним из наиболее перспективных регионов в области онкологии с точки зрения научно-технического прогресса. Высокоразвитый научно-образовательный сектор и активный научно-исследовательский потенциал, создают уникальные возможности для проведения крупных фундаментальных проектов, в том числе по изучению патогенетических механизмов течения опухолевого процесса, решения актуальных прикладных задач, например разработки и производства отечественных импортозамещающих биологически активных субстанций, а также формирования кадровой стратегии для разработки высокотехнологических направлений в онкологии. Передовые научно-технические разработки ведутся в клинических и образовательных центрах, расположенных в Санкт-Петербурге.

Так, ФГБУ «НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Санкт-Петербург) – один из старейших научно-исследовательских онкологических институтов Российской Федерации. В течение

длительного времени занимал лидирующие позиции в области изучения и стандартизации лечения злокачественных опухолей.

ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Санкт-Петербург) – уникальное научно-исследовательское учреждение, совмещающее наиболее современные технологии радиационного лечения, диагностики с классической хирургической школой. Исторически принимает активное участие в проведении фундаментальных исследований в области онкологии.

Одним из важнейших направлений деятельности большинства научных центров, в частности Санкт-Петербурга, является международное сотрудничество. Среди приоритетных направлений сотрудничества исторически выделяется клиническая, образовательная деятельность и исследовательская работа. Взаимодействие научных подразделений Санкт-Петербурга осуществляется как с центрами Западной Европы и Северной Америки, так и с научными учреждениями азиатского региона.

Сотрудничество в области образовательной деятельности осуществляется в первую очередь с европейскими центрами. Среди них госпиталь Charité (Берлин, Германия) который неоднократно выступал принимающей стороной для молодых врачей различных специальностей, в том числе, в рамках работы World Health Summit. Активный обмен опытом и образовательная деятельность в виде длительных визитов отечественных специалистов проводился и активно продолжается с несколькими госпиталями Нидерландов, в частности Radboud University Nijmegen Medical Centre (Наймегена) и Университета Амстердама (Амстердама). Также проходило совершенствование отечественных хирургов-онкологов в области гепатобилиарной хирургии в центре Paul Brousse Hospital (Франция).

Важно отметить, что в области фундаментальной науки международное сотрудничество распространяется также и на центры Северной Америки. Так, инициирована совместная программа с университетом Стэнфорд (Калифорния, США), в рамках которой сотрудники лаборатории нанобиотехнологий СПб АУ НОЦНТ РАН были направлены для реализации совместного проекта в лабораторию лауреата Нобелевской премии по химии Роджера Корнберга. Также длительная работа, нацеленная на создание виртуального университета, проводилась на базе СПб АУ НОЦНТ РАН с Университетом Южной Калифорнии, институтом CALTECH (Калифорния, США) в 2011-2013 гг.

Таким образом, можно однозначно говорить о высокой социальной значимости научно-технических разработок в области диагностики и лечения злокачественных новообразований, проводимых на территории Санкт-Петербурга. Необходимо заметить,

что Санкт-Петербург является одним из наиболее перспективных регионов в области онкологии с точки зрения научно-технического прогресса. Высокоразвитый научно-образовательный сектор и активный научно-исследовательский потенциал, создают уникальные возможности для проведения крупных фундаментальных проектов, в том числе по изучению патогенетических механизмов течения опухолевого процесса, решения актуальных прикладных задач, например разработки и производства отечественных импортозамещающих биологически активных субстанций, а также формирования кадровой стратегии для разработки высокотехнологических направлений в онкологии.

На первом этапе НИР нами были проанализированы передовые научно-технические разработки научных, клинических и образовательных центров, расположенных в Санкт-Петербурге, включающих: Санкт-Петербургский академический университет – НОЦ нанотехнологий РАН, институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, институт цитологии РАН, института мозга человека РАН, НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова Минздрава России, Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета и. акад. И.П. Павлова Минздрава России, Северо-Западного медицинского университета им. И.И. Мечникова Минздрава России, Российского научного центра радиологии и хирургических технологий Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербургской химико-фармацевтической академии Минздрава России. При этом спектр научных учреждений города позволяет вести разработки всех основных направлений в онкологии: фундаментальной онкологии, диагностики и лечения злокачественных опухолей на современном мировом уровне как с научной и технической, так и клинической точек зрения.

По совокупности полученных данных перспективные направления развития отечественной онкологии могут быть сформулированы следующим образом: изучение экзогенных канцерогенных факторов; изучение молекулярно-генетических особенностей течения злокачественных опухолей; высокоспецифические РФП для диагностики различных новообразований; создание научной и технической базы для разработки платформ определения предиктивных факторов течения опухолевого процесса, определяющих чувствительность к существующим методам лечения.

На настоящий момент фундаментальные исследования в области онкологии по большей части направлены на изучение различных уровней молекулярных нарушений, определяющих патогенез злокачественных опухолей [18]. Проводятся многочисленные исследования мутационных изменений на уровне ДНК, экспрессии микроРНК, мРНК и белков. Основной фундаментальной и прикладной проблемой медицины в целом и

онкологии в частности является индивидуализация лечения, направленная на определение индивидуальных молекулярно-генетических особенностей опухоли, определяющих ее чувствительность к уже имеющимся в арсенале лекарственным препаратам. На настоящий момент, подобные исследования чаще всего проводятся в пределах одной нозологической формы опухоли.

Одним из наиболее частых видов злокачественных новообразований у женщин являются опухоли молочной железы. В связи с визуальной локализацией этих опухолей, большим числом новых случаев, а также относительно индолентным течением заболевания данный вид злокачественных опухолей является довольно удобной моделью изучения как фундаментальных вопросов канцерогенеза, так и практических вопросов лечения этого заболевания.

В настоящее время лечение опухолей молочной железы базируется на эмпирическом выборе терапевтических средств, основанном на клинических и патоморфологических признаках злокачественности течения болезни. Создание эффективной диагностической тест-системы для выявления предиктивных молекулярно-генетических особенностей рака молочной железы входит в число приоритетных задач для увеличения эффективности и улучшения отдаленных результатов лечения. Индивидуализация подхода к лечению за счет определения каждой больной в определенную группу прогноза и чувствительности к отдельным видам противоопухолевого лечения на основании совокупности экспрессии ключевых факторов опухолевого патогенеза позволит увеличить эффективность проводимой терапии.

Наиболее распространенной и проблематичной на настоящий момент ситуацией представляется индивидуализация лечение больных с опухолями без выявленных активирующих мутаций или патогенетических механизмов, определяющих канцерогенез. Данная группа опухолей включает большинство новообразований солидной природы, в том числе и все опухоли молочной железы, а оптимальным подходом к лечению таких пациентов является проведение системной химиотерапии на основании эмпирического подхода. По мнению авторов, для этой группы пациентов выделение отдельных подгрупп, различающихся по чувствительности к уже существующим противоопухолевым средствам и, возможно, имеющих мишени для лекарственных препаратов, которые будут получены в будущем, требует комплексной оценки всего спектра молекулярных изменений не только в злокачественных клетках, но и в паренхиме опухоли. При этом, различия между группами зачастую носят относительный характер и являются следствием не одного молекулярного нарушения, а совокупности многочисленных особенностей взаимодействия опухоли и организма в целом. В качестве примера подобной ситуации

можно рассматривать опухоли молочной железы, синхронно экспрессирующие РЭ/РП и HER2. Наличие у этой группы пациентов двух одновременно экспрессированных предиктивных маркеров чувствительности не приводит по данным клинических исследований к оптимальным результатам при использовании препаратов направленно их блокирующих. Как уже обсуждалось выше, проблемой данной клинической ситуации является отсутствие на настоящий момент оптимальной терапии, несмотря на наличие двух мишеней, в значительной степени определяющих эффективность существующих видов лекарственных препаратов (эндокринотерапия для позитивной экспрессии и анти-HER2 терапия для гиперэкспрессии HER2) [14]. Сложность объясняется тем, что эти опухоли имеют признаки как относительного индолентного (рецепторы стероидных гормонов), так и агрессивного течения (гиперэкспрессия HER2). В результате современные стандарты предполагают использование у этой группы больных всего известного спектра лекарственной противоопухолевой терапии (химиотерапия, гормонотерапия, анти-HER2 терапия) как на этапе адъювантной, так и лечебной терапии. Очевидно, что в этом нуждаются далеко не все больные. В результате часть пациентов получает бесполезную, но высокотоксичную терапию.

Вопрос экспрессионного профиля опухолей молочной железы активно изучается во всем мире с 2000 года. К настоящему моменту основополагающей является молекулярно-генетическая классификация рака молочной железы, разработанная на основании определения экспрессии 8 102 генов в 65 образцах опухоли молочной железы (Perou C.M., et al. 2000). Со времени публикации этих результатов было проведено не менее 10 аналогичных работ, уточняющих первичные данные. На основании проведенных исследований были разработаны и клинически апробированы предиктивный экспрессионный набор - Oncotype DX (Genomic Health) и прогностические экспрессионные наборы - 76 генный Роттердамский профиль и Геномный индекс степени злокачественности (Genomic Grade Index).

На базе Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургский Академического университета – научно-образовательного центра нанотехнологий РАН, совместно с Stanford Genome Technology Center (<http://med.stanford.edu/sgtc/> CA, USA) при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 8294 от 10 августа 2012 г.) была проведена исследовательская работа, направленная на изучение молекулярно-генетических особенностей рака молочной железы и создание тест-системы для выявления предиктивных маркеров.

Проведенный полногеномный экспрессионный анализ является логическим продолжением наиболее современных работ в этой области и к настоящему моменту не имеет аналогов в мировой научной практике, а набор генов, отобранных на основании его результатов, позволит создать уникальную как для РФ, так и для западных стран тест-систему.

С помощью полногеномного экспрессионного анализа и последующей статистической обработки полученных результатов было на максимально доступном уровне детализации показано, что группа дважды-позитивных опухолей молочной железы состоит как минимум из 2 – 4 подтипов, различающихся по совокупности фенотипических проявлений и клинического течения. Несмотря на то, что использованный метод экспрессионного анализа позволяет практически полностью охарактеризовать фенотип изучаемых образцов на момент фиксации материала в формалине, его результаты равно как и данные предыдущих экспрессионных исследований носят относительный характер и могут интерпретироваться только в сравнении с другими результатами, охарактеризованными с клинической точки зрения. Так, выделение уже ставших стандартными молекулярных подтипов основано в первую очередь на корреляции профиля экспрессии конкретного образца с центроидами, то есть усредненными значениями экспрессии, каждого из выделенных подтипов [15].

Таким образом, как показало наше исследование использование полногеномного экспрессионного профилирования позволило подтвердить биологически детерминированную гетерогенность опухолей молочной железы с экспрессией PЭ/PP и гиперэкспрессией HER2. Данные результаты указывают на наличие прогностически различных групп в пределах отобранной когорты пациентов. С учетом того, что большинство больных в работе получали в качестве адьювантной терапии только эндокринотерапию и практически никто не получал анти-HER2 препараты можно предположить связь выделенных на основании сравнительного анализа профилей экспрессии групп образцов с эффективностью таргетного блокирования PЭ и HER2. Несмотря на то, что полученные результаты имеют в первую очередь фундаментальную ценность с точки зрения демонстрации значительно более глубоких различий в патогенетически важных механизмах и комплексное взаимодействие между PЭ и HER2 на уровне внутриклеточных сигнальных каскадов, нельзя не отметить и практические возможности для использования выявленных закономерностей. Так, выявленная связь между активностью сигнального каскада интерферонов и выживаемостью больных может быть использована для оптимизации послеоперационного лечения. Кроме того, выделение в пределах описываемого подтипа дважды-позитивных опухолей молочной железы

отдельных групп, различающихся по показателям выживаемости однозначно должно быть изучено с точки зрения эффективности различных методов лекарственной терапии у этих больных.

Немаловажным наблюдением, сделанным в ходе анализа клинических особенностей пациентов, отнесенных к различным подгруппам, стало отсутствие различий в проанализированных клинических характеристиках. Данный вывод позволяет предположить наличие сложных внутриопухолевых взаимодействий, а также коммуникации между опухолью и организмом, которые не проявляются при более поверхностном анализе, например клинических характеристик.

Интересно, что гетерогенность в пределах группы с одинаковым стандартным лечением была показана и для других форм опухолей молочной железы. Так, в одной из первых подобных работ по изучению трипл-негативной опухоли было показано, что при селекции на основании отсутствия экспрессии РЭ, РП и HER2, приводит к формированию гетерогенной группы опухолей, среди которых значимую долю составляют опухоли не относящиеся к базальному молекулярному подтипу. Принципиально похожая картина была получена и для HER2-подобного подтипа. Так, кластеризация экспрессионных профилей 58 опухолей с гиперэкспрессией HER2 позволила выявить три кластера, имеющих различия как в общей, так и в безрецидивной выживаемости, обладающие статистической значимостью. Таким образом, использование методов комплексной оценки опухолевого фенотипа позволили выявить гетерогенность с прогностической точки зрения у гомогенных с клинической точки зрения пациентов. Использование для этой цели методов полногеномного экспрессионного профиля, являющихся на настоящий момент довольно дорогостоящими и трудоемкими, является первым шагом к последующей индивидуализации лечения больных на основании комплексной оценки молекулярных нарушений у больных без активирующих или канцерогенных мутаций. Однозначным выводом из всего сказанного выше является то, что использование одинакового лечения на основании используемых в настоящий момент клинических маркеров не позволяет достичь оптимальных результатов даже существующими на настоящий момент средствами. В свою очередь стратификация пациентов при помощи комплексных методов молекулярного анализа позволяет выделить отдельные группы, которые могут оказаться более чувствительными к отдельным видам воздействия или менее агрессивными и не требующими дополнительных методов лечения.

Кроме того, анализ активности патогенетически детерминированных сигнальных каскадов позволил выявить лишь намеки на различия в биологических механизмах, определяющих разное течение болезни, между двумя идентифицированными группами

(ER, ERBB2, proliferative cluster). Данное наблюдение, по мнению авторов, может говорить о наличии более глубоких или динамических взаимодействий, определяющих патогенез изученных опухолей, лежащих в основе более низкой чувствительности последних к используемой лекарственной терапии, а также без сомнения, приводящих к формированию резистентности в том числе и таргетным препаратам.

Уже на первом этапе исследования, при анализе образцов «внутреннего» набора была выявлена более высокая экспрессионная активность интерферон связанной группы генов в кластере образцов с большим временем до рецидива заболевания. Надо отметить, что роль иммунологических механизмов в патогенезе опухолей молочной железы на настоящий момент изучена недостаточно, тем не менее сразу в нескольких недавних работах было выявлено, что большее число опухолейинфильтрирующих лимфоцитов (TIL – tumor infiltrating lymphocytes) коррелировало с благоприятным прогнозом у больных HER2-позитивным раком молочной железы. Интересно, что в одном из исследований была выявлена достоверная связь между числом CD8+ клеток и снижением смертности, связанной с опухолью [2]. Данное наблюдение, получило косвенное подтверждение в нашем исследовании и без сомнения требует дальнейшего изучения.

Отдельного внимания требует выявление четырех групп среди PЭ+HER2+ опухолей молочной железы, сделанное в нашей работе. Независимый анализ большого числа образцов вне всякого сомнения позволяет с большей детализацией анализировать результаты полученного экспрессионного профилирования. При этом нельзя не отметить, что расширение «внутреннего» набора образцов за счет включения дополнительных пациентов, вполне возможно, позволило бы идентифицировать больше подтипов и в рамках проведенного нами экспрессионного профилирования. Подтверждением биологического значения выявленных подгрупп являются статистически значимые различия в безрецидивной выживаемости, полученные при анализе 164 случаев ($p=0.0047$). При этом, также как и в предыдущих этапах работы, клинических различий между образцами отнесенными к разным кластерам выявлено не было. Кроме того, важно заметить что, также не было выявлено прямой корреляции с распределением ранее идентифицированных молекулярных подтипов и выявленных в нашей работе групп. Интересно, что наилучшие показатели выживаемости наблюдались в первом (черном) кластере, отличительной чертой которого был высокая экспрессия интерферон-связанных каскадов. Несмотря на то, что на последовательных этапах нашей работы было выявлено разное число молекулярных подтипов дважды-позитивных опухолей молочной железы, данные результаты не противоречат общей концепции гетерогенности данной группы

опухолей и говорят лишь, о целесообразности дальнейшего комплексного анализа патогенеза.

Таким образом, суммируя все сказанное выше можно однозначно говорить о том, что солидные опухоли без активирующих мутаций или единичных нарушений патогенетических механизмов представляют собой крайне гетерогенную группу. При этом, выделение отдельных групп возможно лишь при комплексной оценке молекулярной картины опухолевого процесса. Несмотря на отсутствие реальной возможности использования в настоящее время полногеномного экспрессионного анализа в клинической практике, использование данного подхода, вне всякого сомнения, является одной из немногих существующих на настоящий момент возможностей для стратификации опухолей с целью изучения активности уже существующих и новых лекарственных препаратов.

7.1.1 Диагностика злокачественных опухолей

Позитронная эмиссионная томография — радионуклидный томографический метод исследования внутренних органов **человека**. Метод основан на регистрации пары гамма-квантов, возникающих при аннигиляции позитронов из радиофармпрепарата, вводимого перед исследованием. В основе этого метода лежит возможность при помощи специального детектирующего оборудования (ПЭТ - сканера) отслеживать распределение в организме биологически активных соединений, меченных позитрон-излучающими радионуклидами.

ПЭТ, основы которой заложены в середине 1970-х годов, в настоящее время является мощнейшим и уникальным инструментом, одним из самых информативных диагностических методов, применяемых в ядерной медицине. Она представляет собой неинвазивный метод определения концентраций соединений, меченных позитронными эмиттерами, в заданных исследователем биологических тканях. Неоспоримое преимущество ПЭТ заключается в его уникальной чувствительности, примерно на два порядка большей, чем у однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. Присутствие среди позитронных эмиттеров радионуклидов основных элементов-органогенов (углерод, азот, кислород) позволяет использовать меченные этими радионуклидами самые разнообразные биологически активные соединения, содержащиеся в нормально функционирующем живом организме. ПЭТ - метод, который позволяет выявлять ранее неизвестные отклонения от нормы в функционировании систем, например, головного мозга, дает клиницисту возможность связывать и количественно оценивать наблюдаемые патологические отклонения с дисфункцией биохимических и/или

физиологических параметров и таким образом открывает перед ним новые возможности, как в терапии, так и в хирургии.

В основе принципа ПЭТ лежит явление регистрации двух противоположно направленных гамма-лучей одинаковых энергий, возникающих в результате аннигиляции. Процесс аннигиляции происходит в тех случаях, когда излученный ядром радионуклида позитрон встречается с электроном в тканях пациента.

Радиофармацевтические препараты (РФП), используемые при ПЭТ, представляют собой, как правило, вещества, участвующие в различных метаболических процессах. В таких соединениях стабильные нуклиды замещаются на соответствующий радионуклид. Особенностью РФП для ПЭТ является также необычность условий их синтеза - использование так называемых ультракороткоживущих радионуклидов (УКЖР) и работа с ничтожными количествами.

Потенциал ПЭТ в значительной степени определяется арсеналом доступных РФП. Именно выбор подходящего РФП позволяет изучать с помощью ПЭТ такие разные процессы, как метаболизм, транспорт веществ, лиганд-рецепторные взаимодействия, экспрессию генов и т.д. Использование РФП, относящихся к различным классам биологически активных соединений, делает ПЭТ достаточно универсальным инструментом современной медицины. Поэтому разработка новых РФП и эффективных методов синтеза уже зарекомендовавших себя в настоящее время становится ключевым этапом в развитии метода ПЭТ.

На сегодняшний день в ПЭТ в основном применяются позитрон - излучающие радионуклиды элементов второго периода Периодической системы: углерод-11 ($T_{1/2}=20,4$ мин.), азот-13 ($T_{1/2}=9,96$ мин.), кислород-15 ($T_{1/2}=2,03$ мин.) и фтор-18 ($T_{1/2}=109,8$ мин.). Фтор-18 обладает оптимальными характеристиками для использования в ПЭТ: наибольшим периодом полураспада и наименьшей энергией излучения. С одной стороны, относительно небольшой период полураспада фтора-18 позволяет получать ПЭТ изображения высокой контрастности при низкой дозовой нагрузке на пациентов. Низкая энергия позитронного излучения обеспечивает высокое пространственное разрешение ПЭТ изображений. С другой стороны, период полураспада фтора-18 достаточно велик, чтобы обеспечить возможность транспортировки РФП на основе фтора-18 из централизованного места производства в клиники и институты, имеющие ПЭТ сканеры (т.н. концепция спутников), а также расширить временные границы ПЭТ-исследований и синтеза РФП.

На базе Института мозга человека РАН в настоящее время проводятся работы по совершенствованию методик визуализации различных структур и функциональных

состояний с использованием ПЭТ, а также синтезируются новые РФП. Разработаны новые критерии ПЭТ диагностики внутри глиального ряда опухолей головного мозга. В поиске новых закономерностей анализа ПЭТ изображений были проведены исследования по анализу гистоструктуру опухолей. На морфологической гетерогенности опухолей глиальной природы, было высказано предположение и о метаболической гетерогенности. Этот подход стал фундаментом для выделения дополнительных новых ПЭТ критериев церебральных глиом: закономерная неоднородность накопления РФП в опухоли, изолированный или сливной характер очагов максимального накопления в опухоли, соотношение площади очагов максимального накопления к общей площади опухолевого узла, включения в ткани узла в виде кист или некрозов. Следует отметить, что ни один из новых предложенных показателей не является патогномичным, подобно отдельно взятому уровню накопления РФП, как это установилось в специальной литературе. Лишь сочетание отдельных признаков в виде ПЭТ синдромов специфично для каждого вида глиомы.

Кроме того, продолжены исследования возможности ПЭТ с 11С-метионином с точки зрения оценки радикальности хирургического удаления церебральных глиом и оптимальных сроках этой процедуры.

На основании анализа большого клинического материала показано, что ПЭТ с 11С-метионином является высокоэффективным методом контроля радикальности хирургического удаления церебральных глиом, позволяющим надежно визуализировать остатки злокачественных и доброкачественных опухолей независимо от сроков послеоперационного исследования, что является преимуществом данной методики. Впервые разработаны ПЭТ-признаки, позволяющие надёжно диагностировать остатки оперированной глиомы и дифференцировать их от изменений, возникших вследствие самой хирургической агрессии.

Повышенное накопление 11С-метионина в жизнеспособной опухолевой ткани также позволяет надежно диагностировать не только первичную опухоль головного мозга, но и продолженный рост новообразования. Обнаружение продолженного роста церебральных опухолей остается слабым местом современных технологий визуализации (МРТ, КТ), поскольку основан не столько на специфических показателях, сколько на признаках объемного взаимодействия с окружающими мозговыми структурами. Кроме того, все лечебные вмешательства – хирургическая резекция, лучевая и химиотерапия – вызывают некроз и морфологические изменения в объеме и локализации опухоли, что затрудняют интерпретацию МРТ и КТ, даже при использовании контрастных веществ. У 97% больных, у которых диагностирован продолженный рост, нами было установлено

очаговое повышение накопления ¹¹C-метионина в зоне первичной локализации опухоли. “Горячий” очаг, независимо от его размеров и воздействия на соседние структуры, ярко выделялся на фоне мозговой ткани и коренным образом отличался от а- и гипометаболических участков, обусловленных кистами, старыми кровоизлияниями, глиозом и другими рубцово-атрофическими изменениями.

Несмотря на высокое практическое значение методик диагностики на основе радиационных технологий, их использование в значительной степени ограничено стоимостью аппаратного обеспечения, а также логистическими ограничениями, связанными с доставкой и синтезом *de novo* РФП. В связи с этим новые методы диагностики с использованием световых технологий активно изучаются в настоящее время как в России, так и зарубежом. Данное направление является высокоактуальным, например, для таких социально значимых заболеваний как онкологические новообразования и инфекционные болезни. В основе подобных методов диагностики может лежат дискриминация нормальных и патологических тканей на основе выявления оптических различий между ними. К сожалению, в связи с биологической однородностью изучаемого материала, например, эндотелий мочевого пузыря и неинвазивная карцинома мочевого пузыря, выявить различия при помощи имеющихся оптических методов представляется невозможным. Кроме того, в связи с совершенствованием хирургических методик лечения различных воспалительных, опухолевых и косметических состояний, особое значение приобретают методики *in vivo* определения границ между различными биологическими структурами, такими как кровеносные сосуды, нервы, мышечная и жировая ткани. На современном этапе развития диагностических методик определение гистологической принадлежности тканей возможно только *ex vivo* - на уровне световой микроскопии. В ряде случаев для уточнения требуется использование дополнительных методик, основанных на идентификации молекулярно-генетических изменений или уникальных особенностей тех или иных тканей, позволяющих подтвердить или уточнить результат микроскопии при помощи определения различных маркеров. Среди них наиболее широко используются иммуногистохимия, полимеразная цепная реакция и гибридизация *in situ*. При всех достоинствах этого подхода, возможности для его использования в значительной степени ограничены длительностью подготовки образца ткани, а также высокой квалификацией персонала и необходимостью использования дорогостоящего оборудования.

В настоящее время в практической медицине применяются в основном источники искусственного освещения на основе ламп накаливания, галогенных и ксеноновых ламп. Области применения такого освещения охватывают широкий круг задач от общего

освещения помещений медицинского назначения до специальных видов медицинского освещения (хирургические светильники, эндовидеохирургическая аппаратура и др.). Параметры излучения таких источников достаточно хорошо изучены. Как правило, они дают белый свет высокого качества (индекс цветопередачи ~90 в диапазоне цветовых температур 3000-6000К), однако в силу физических причин исключена возможность даже минимальной цветовой настройки освещения.

Высокого контраста между патологическими и нормальными участками изучаемых тканей можно добиться лишь имея возможность настраивать (подбирать) спектральный состав света, используемого для освещения, во время проведения процедуры. Выбор необходимого для диагностики спектрального диапазона, позволяющего с наибольшим контрастированием визуализировать доброкачественные, злокачественные и нормальные ткани, позволит в значительной мере увеличить эффективность уже имеющихся методов лечения, а также повысить выявляемость заболеваний на ранних стадиях.

В последние годы интенсивно разрабатываются полихромные светодиодные излучатели на принципах цветосмещения (RGB-подход), позволяющие синтезировать миллионы цветов, включая белый свет с высоким индексом цветопередачи. Это открывает принципиально новые возможности для проведения широкомасштабных исследований оптических эффектов в биологических тканях и использования полученных результатов для разработки высокоэффективных светодиодных источников света для различных областей медицинского применения, включая диагностику. Возможно и дополнение в УФ области излучения для возбуждения люминесценции тканей при исследовании под микроскопом.

Как было показано в предыдущих исследованиях по данной тематике, проведенных в 2010-11гг., использование полихромных управляемых светодиодных источников, основанных на принципах цветосмещения (т.н. RGB-принцип) в хирургических осветителях улучшает условия освещенности и зрительного восприятия как в операционном поле в процессе проведения хирургических вмешательств, так и в ходе любых других рутинных осмотров. К очевидным достоинствам таких устройств относится отсутствие в спектре излучения светодиодов опасных, с точки зрения поражения тканей, УФ и ИК составляющих, а так же оптические характеристики светового пятна – оптимальная глубина, однородность и объем светового поля при высоких эксплуатационных качествах: большой срок службы, надежность и сравнительно низкое электропотребление. По освещенности, энергоэффективности, характеристикам рабочего поля, цветовой температуре, индексу цветопередачи и прочим параметрам светодиодный источник практически удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым на

данный момент светильникам хирургического и общемедицинского назначения (“Guidance Document for Surgical Lamp, Guidance for Industry, FDA Reviewers/Staff and Compliance.”, “Medical Electrical Equipment, Part 2-41: Particular Requirements for the Safety of Surgical Luminaires and Luminaires for Diagnosis.”, “An IESNA Recommended Practice—Lighting for Hospitals and Health Care Facilities.”, ГОСТ 26368-90).

Однако, как показали первые экспериментальные опробования, реализация потенциальных преимуществ интеллектуального светодиодного освещения в медицине требует дальнейшего совершенствования как технической составляющей – собственно источника света и программного обеспечения для управления режимами освещения, так и накопления данных по оптическим свойствам различных биологических тканей, применительно к светодиодному освещению, с учетом особенностей спектров поглощения, рассеяния и отражения одной или нескольких тканей организма.

Для расширения спектральных возможностей по идентификации биологических тканей был разработан светильник со светодиодными модулями с длинами волн 460 нм , 490нм , 520нм, 560нм, 590нм, 630нм. Наличие широкого набора длин волн зелено-желтого диапазона позволяет не толь синтезировать белый свет с высокого качества, но обеспечивает тонкую подстройку контрастной визуализации различных производных гемоглобина. Общий вид светодиодного модуля их 6-ти чипов показан на рис. 7.1. Сам хирургический осветитель имеет в своем составе 4 светильника, в каждый их которых входит по 4 светодиодных модуля, излучающих на 6-ти длинах волн (рис. 7.2)

Каждый такой светильник может работать автономно или в составе хирургического осветителя, при этом имея независимое или синхронизированное друг с другом управление световыми характеристиками. Схема такого светильника показана на рис. 7.3

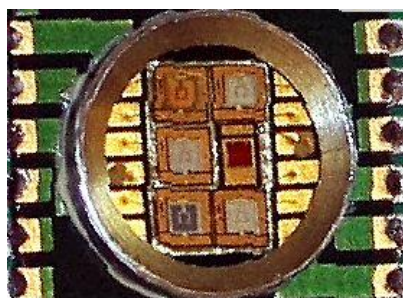


Рис. 7.1 – Фотография общего вида светодиодного модуля



Рис. 7.2 – Общий вид хирургического осветителя

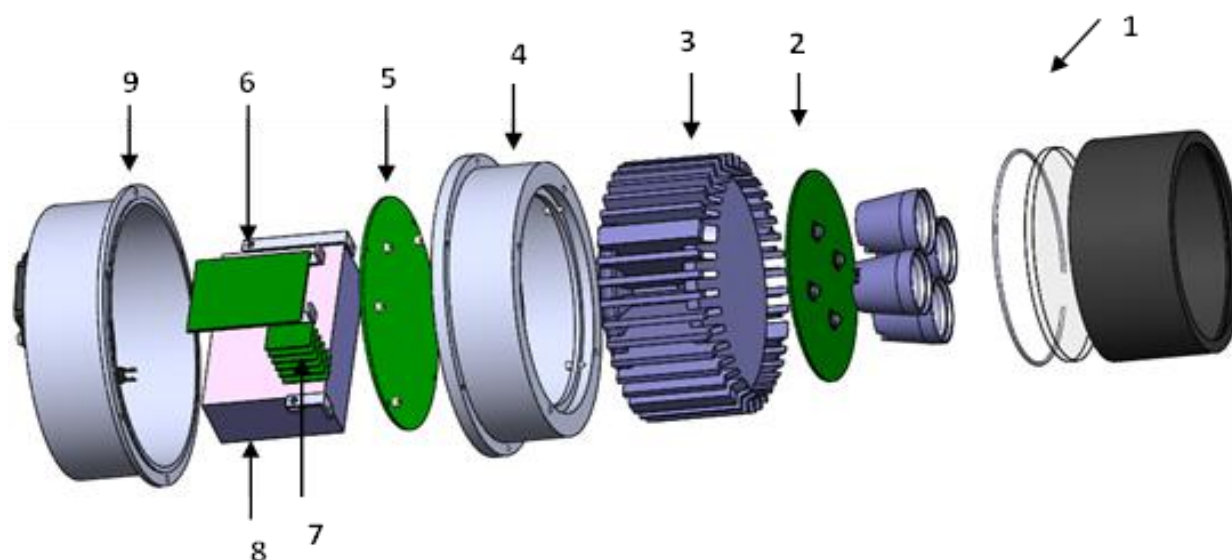


Рис. 7.3 – Схема и состав управляемого светодиодного светильника

1- оптическая система, 2 – светодиодный модуль, 3 – радиатор с пьезо-вентилятором,
 4- корпус, 5 – плата микропроцессора, 6 – антенный блок радиоканала,
 7 – драйверы питания СД модулей, 8 – источник питания, 9- крышка корпуса.

Световой поток каждого из светильников составляет 2500 лм. Для смешения цветов и создания равномерной засветки поля визуализации с освещенностью до 20000 лк была разработана оптическая схема, показанная на рис. 7.4. Схема является комбинацией линз полного внутреннего отражения (ПВО) и микропризмного рассеивателя, которая обеспечивает требуемый угол излучения и равномерность засветки по цвету при высоком уровне освещенности и цветопередачи

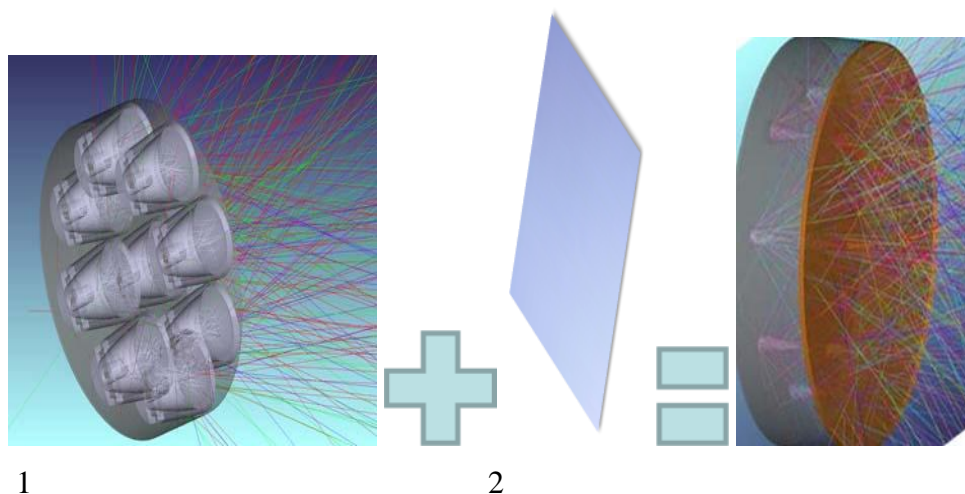


Рис. 7.4 – Оптическая схема управляемого светодиодного светильника

1 – линзы ПВО, 2 – микропризмный рассеиватель

В современных оптических устройствах в настоящее время используются два основных способа для изменения интенсивности светового потока: путем регулирования тока накачки светодиода и путем широтно-импульсной модуляции (PWM) тока накачки. При регулировании тока накачки светодиода зависимость светового потока от тока накачки нелинейна. Поэтому в данной работе выбрана широтно-импульсная модуляция (PWM) тока накачки, которая обеспечивает линейную зависимость светового потока в большом динамическом диапазоне.

Электронный блок светодиодного светильника должен включать в себя датчики обратной связи для контроля режимов работы светодиодного модуля. Датчики обратной связи осуществляют контроль температуры теплорассеивающих радиаторов, на которых размещены светодиоды. Контроль температуры позволяет обеспечить долговременную работу устройства. Для измерения реальной интенсивности на заданной длине волны используется датчики цветности

Спектральные и цветовые измерения проводились на приборе OL 770 “OL 770-LED High-speed LED Test and Measurement System Configured for Source Spectral Analysis of LEDs (250 - 1100 nm)”

На рис.7.5 представлены спектры излучения светодиодов 6-чипового модуля. Как видно из спектров длины волн излучения позволяют широко варьировать и тонко настраивать визуализацию тканей. Это позволяет, в частности, достоверно определять ткани с различными компонентами крови, которые имеют спектры поглощения (рис. 7.6) в области излучения светодиодного светильника.

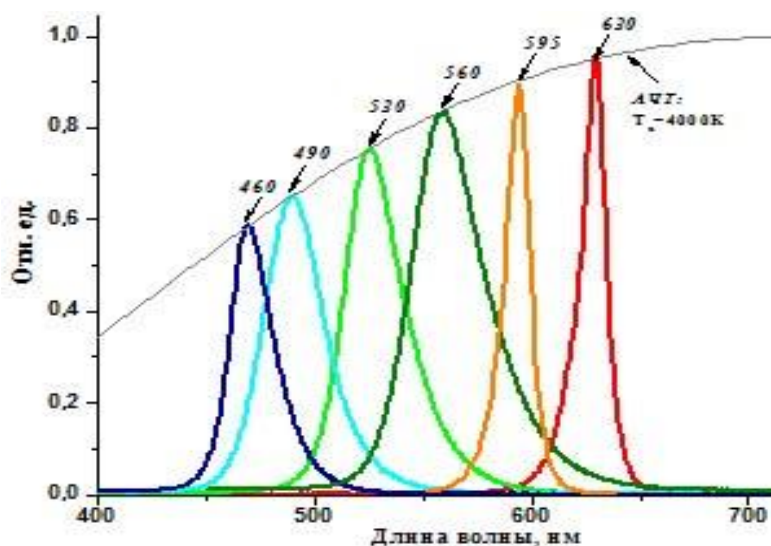


Рис. 7.5 – Спектры излучения компонент светодиодного модуля

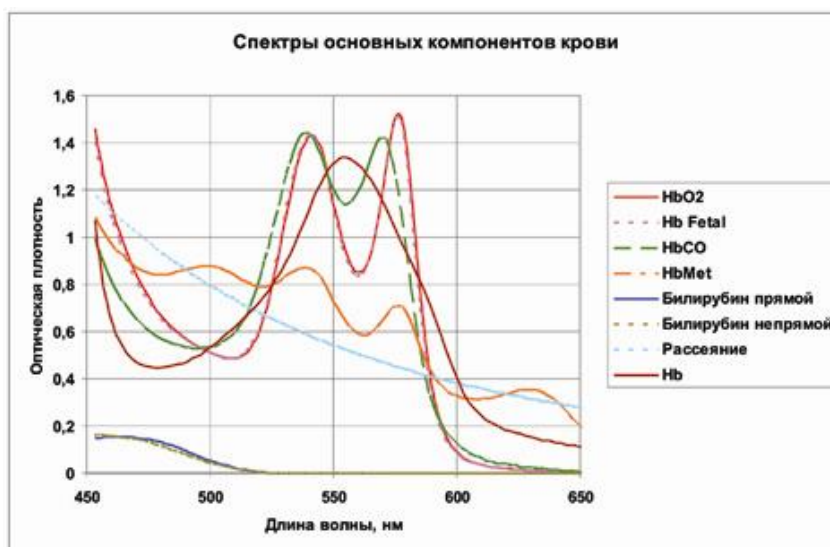


Рис. 7.6 – Спектры поглощения основных компонентов крови

Пространственные характеристики светильника измерены с использованием универсального измерительного комплекса “IS-LI™ Luminous Intensity Measurement System ProMetric Color Measurement system”

На рис. 7.7 представлены угловые характеристики излучения светодиодного светильника. Его угол излучения по уровню 0.5 составляет около 90 градусов с равномерной засветкой поля излучения по освещенности и цветовой координате.

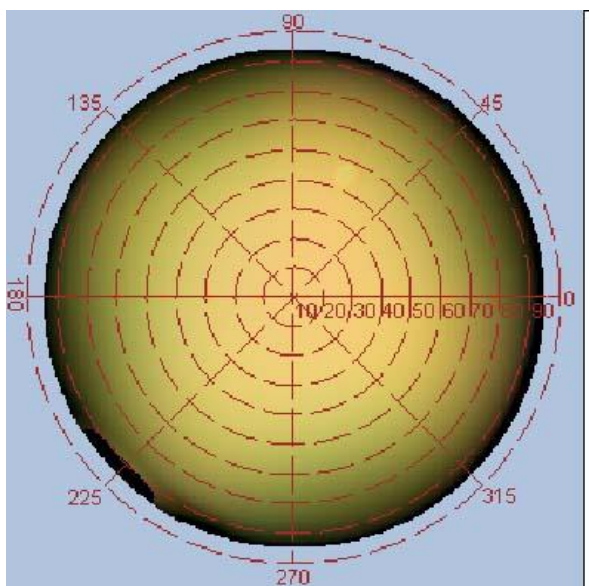


Рис. 7.7 – Угловое распределение освещенности светодиодного светильника

Таким образом, на основании проведенных экспериментов найдена оптимальная на сегодняшний день система из 6-ти цветов, позволяющая получать белый свет с высоким индексом цветопередачи, высокой световой отдачей и в широком диапазоне цветовых температур. В то же время, наличие большого количества спектральных компонент, позволяет более точно визуализировать биологические ткани.

Исследования на лабораторных животных в остром эксперименте, проводимые с использованием являлись продолжением исследований проводимых по гранту СПбНЦ РАН на 2012 г. по тематике, в качестве исследуемых объектов использовались так же крысы линии Вистар (масса тела от 280 до 340 гр., здоровые особи), лабораторные животные с перевитыми опухолевыми образованиями (мыши линии СЗНА с подкожно перевитыми опухолями рака молочной железы, масса тела от 40 до 50 гр., 6 шт., время после перевивания не менее 1 недели), а так же здоровые животные.

На здоровых животных были повторены результаты, полученные в 2011г. и 2012г. в рамках соответствующих проектов СПбНЦ, при этом использовалась установка с регулировкой высоты и угла наклона источника света и регулировкой высоты и угла наклона приёмника отражённого/рассеянного света. Полученные результаты показали, что для всех настроек освещённости, полученных в экспериментах для контрастирования пар тканей ранее, удаётся добиться требуемых параметров контрастирования исследуемых объектов. Полученные изображения более высокого разрешения

подтвердили возможность увеличения контрастности визуализации, в том числе и для изучения микроструктуры сосудистого русла.

Применение прижизненных флуоресцентных красителей позволило при использовании светодиодного источника ультрафиолетового излучения позволило провести серию экспериментов, в которых было показано, что система источников света и детектора отражённого/рассеянного света позволяют возбуждать и регистрировать излучение красителя специфически связанного с опухолевыми образованиями, находящимися в операционном поле. Так же проведены исследования с совмещением метода контрастирования основанным на изменении спектрального состава излучения испускаемого светодиодным источником света и с использованием красителей и светодиодного источника ультрафиолетового излучения. Посредством совмещения изображений полученных последовательно с разными настройками удаётся получить не только изображение тканей и органов с операционном поле с высоким контрастом, но и дополнительно контрастировать опухолевые образования. Данный метод представляет собой большой интерес для практической реализации и использования в лабораторных исследованиях и клинической практике. В свою очередь разнообразие красителей позволяет существенно расширить возможности метода и области его применения.

7.1.2 Лечение злокачественных опухолей

Основными элементами лечения злокачественных опухолей являются: хирургический, лучевой и лекарственный методы. При этом только операции и в редких случаях лучевая и лекарственная терапия позволяют полностью излечить пациентов. В силу биологических особенностей опухолевого роста даже при, так называемом, радикальном лечении далеко не всегда удается добиться излечения заболевания. Кроме того достаточно часто новообразования выявляются на стадии, когда хирургическое удаление опухоли технически невыполнимо или нецелесообразно из-за распространения болезни [1]. По этой причине особое значение приобретают системные методы воздействия и, в первую очередь, различные виды лекарственной терапии [5].

История развития системных подходов к лечению солидных опухолей началась с гормоно- и биотерапии в XIX веке, а с середины XX века развивалась преимущественно за счет цитостатической терапии [3]. Нисколько не преуменьшая роль системной цитотоксической терапии, которая до настоящего времени, увеличивая общую выживаемость и улучшая качество жизни, остается основным методом лечения для большинства пациентов с местно-распространенным или диссеминированным опухолевым процессом, можно утверждать, что ее эффективность достигла своего

предела, появление новых значительно более эффективных универсальных цитостатических препаратов маловероятно, а случаи излечения или регрессы, продолжающиеся годами, являются исключением из общей массы клинических наблюдений. В чем причина? Почему не удастся излечить большинство больных или, по крайней мере, перевести процесс в хроническое состояние с возможностью длительного контроля заболевания? Ответ на сегодняшний день очевиден: причина в особенностях биологии опухоли и отсутствии высокоинформативных предиктивных маркеров, которые бы с высокой вероятностью позволяли прогнозировать эффект высокотоксичных цитостатиков и отбирать на этом основании больных. В результате подавляющее большинство пациентов получают в настоящее время химиотерапию эмпирически с низкой ожидаемой эффективностью.

Большие надежды возлагались на таргетную терапию, появившуюся в более или менее окончательном виде в конце прошлого века. Между тем, как показали многочисленные работы, в общей популяции эти средства, направленно блокирующие те или иные механизмы сигнальной трансдукции, оказались менее эффективны, чем стандартные химиотерапевтические препараты. Выходом из этой ситуации до настоящего времени считается отбор пациентов в первую очередь на основании наличия того или иного молекулярного нарушения, которое в случае истинно таргетной терапии является одновременно и мишенью для препарата (как правило речь идет о драйверных мутациях). В течении последних 20 лет появилось много примеров успешности этого подхода: иматиниб при хроническом миелоидном лейкозе с транслокацией BCR-ABL, гефитиниб, эрлотиниб и афатиниб при EGFR мутированном немелкоклеточном раке легкого, кризотиниб при транслокациях ALK и другие. Тем не менее, с учетом различий в чувствительности к таргетным препаратам между пациентами азиатского и европейского происхождения, вопрос эффективности направленных ингибиторов, в частности EGFR, для больных России остается открытым. Кроме того, остаются не до конца изученными вопросы общей выживаемости больных немелкоклеточным раком легкого с мутацией EGFR на фоне препаратов направленного действия. Несколько в стороне лежит таргетная терапия HER2 позитивного рака молочной железы трастузумабом, которая появилась раньше других вариантов направленного лечения, но несмотря на однозначную роль в лечении больных с HER2 позитивных опухолей молочной железы не обладает таким же эффектом в монотерапии как другие, что возможно связано с гетерогенностью HER2 гиперэкспрессирующих опухолей и сложностью внутриклеточной активности этого сигнального каскада. Так или иначе, на следующем этапе изучения молекулярных мишеней было показано, что их наличие позволяет выделить крайне узкую группу среди

общей массы больных солидными опухолями, так как патогенез большинства злокачественных новообразований связан с многочисленными генетическими нарушениями. Несмотря на это, в редких случаях ключевое нарушение, определяющее неполноценность одного из метаболических механизмов, которое и лежало в основе возникновения опухолевого процесса, может быть мишенью для противоопухолевого воздействия. Примером такой ситуации является наследственные опухоли молочной железы и яичников для которых в нескольких предклинических и отдельных клинических работах показано более высокая чувствительность к алкилирующим агентам. Однако, на настоящий момент число исследований активности алкилирующих агентов у больных опухолями яичников и молочной железы с наследственными мутациями BRCA1 крайне невелико, в связи с чем, вопрос о использовании этого маркера для определения тактики лечения пациентов остается открытым. Возможность сохранения чувствительности к алкилирующим агентам после прогрессирования на фоне нескольких линий лекарственной терапии также остается дискуссионной на настоящий момент. Другим вопросом, ответ на который должен быть еще получен, является возможно более высокая токсичность этих препаратов у носителей мутаций BRCA1 в связи с неполноценностью систем репарации в том числе и в здоровых клетках организма. К сожалению, эти нарушения встречаются также редко как и активирующие мутации, что несмотря на перспективность их использования оставляет открытым вопрос об индивидуализации лечения подавляющего большинства больных.

С учетом того, что чаще всего патогенез опухоли определяется множественными нарушениями, затрагивающими различные сигнальные каскады и метаболические пути, оценка отдельных звеньев у больных без активирующих мутаций вероятнее всего не приведет к идентификации оптимальной группы для лечения тем или иным препаратом. В качестве примера можно привести терапию колоректального рака антиEGFR моноклональными антителами, для которых показано несколько мутационных изменений, обладающих негативной предиктивной силой, или эндокринотерапию РЭ+ опухолей молочной железы, где несмотря на высокую экспрессию РЭ эффективность эндокринотерапии не превышает 60%. В подобной ситуации, когда нет единственного молекулярного нарушения, определяющего патогенез опухоли, реальным потенциальным направлением для улучшения отдаленных результатов является комплексная оценка молекулярной картины опухоли и микроокружения с целью выделения более узких подгрупп со сходным профилем и, как следствие, возможно сходной чувствительностью к терапии. В последние годы появились технологии, которые теоретически могут помочь в решении этого вопроса. Данный подход основан на рассмотрении всего спектра

молекулярных нарушений в ткани опухоли за счет высокопродуктивных методик полногеномного профилирования. Нам представляется, что именно выделение отдельных групп пациентов за счет использования подобных методов может помочь оптимизировать терапию и улучшить отдаленные результаты лечения больных без активирующих мутаций и идентифицированных факторов чувствительности и резистентности к существующим методам лечения.

С целью повышения эффективности лечения больных солидными опухолями, на базе ФГБУ «НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава РФ проводится исследовательская работа по определению эффективности различных видов лекарственной терапии в зависимости от наличия тех или иных молекулярных нарушений и в том числе активирующих мутаций EGFR, ALK, наследственных мутаций BRCA1, а также молекулярных нарушений в предиктивных факторах чувствительности KRAS, NRAS и BRAF. Многочисленные работы по изучению эффективности ИТК у больных с мутациями EGFR показали значительное преимущество последних перед стандартной лекарственной терапией. Так, проспективное исследование эффективности низкомолекулярного ингибитора EGFR гефитиниба у больных с наличием активирующих мутаций, проведенное на популяции больных Северо-Запада Российской Федерации позволило выявить существенное увеличение клинической эффективности, достигшей 100% [11; 13]. Несмотря на относительно невысокую частоту объективных ответов в сравнении с европейскими и, тем более, азиатскими работами – 43,4% против 56% и 70-80% соответственно, длительность времени до прогрессирования, составившая 12,8 месяцев, представляется высоко значимой. Если сравнить с аналогичным показателем для больных, получающих химиотерапию, то он не превышает 4-6 мес.. Кроме того, в нашей работе было показано, что использование таргетного блокирования мутированного EGFR при НМРЛ приводит к увеличению общей выживаемости больных относительно исторического контроля с использованием наиболее современных схем цистостатической терапии, например цисплатина и пеметрекседа у больных без мутаций EGFR, 16,6 месяцев против 12 месяцев.

Таким образом, на примере проспективного исследования эффективности гефитиниба у больных Северо-Западного региона Российской Федерации можно говорить о подтверждении принципа, выявленного в крупных рандомизированных работах о целесообразности выделения в пределах НМРЛ отдельной группы на основании наличия молекулярных нарушений EGFR. Биологическая роль выделенной группы заключается в альтернативном подходе к выбору оптимальной первой и, вероятнее всего, последующих линий терапии на основании блокирования ключевого для данной группы опухолей

патогенетического механизма. Такой подход в последние годы коренным образом изменил клиническую практику лечения больных НМРЛ, однако он касается лишь очень ограниченной группы больных: около 20% больных аденокарциномой и не более 7% от всех больных. Остальные же больные (более 90%) продолжают получать традиционную эмпирическую химиотерапию.

Число активирующих мутаций и препаратов для их направленного блокирования постоянно растет. Так, среди достижений после открытия мутаций EGFR можно, например, отметить выявление эффективности кризотиниба и серитиниба у больных с наличием транслокаций ALK и ROS1. Это также является одним из важнейших достижений клинической онкологии последних лет, однако касается еще меньшего числа пациентов (не более 5% больных с аденокарциномой).

Сейчас ведется активный поиск других, так называемых, драйверных мутаций (амплификация MET, транслокации ROS1, RET, мутации BRAF, HER2, PI3K), что, вероятно, позволит уже в ближайшее время увеличить группу пациентов НМРЛ, получающих индивидуализированную терапию. Несомненно, это очень важное достижение, однако очевидно также то, что в целом коренным образом изменить ситуацию не удастся, так как частота перечисленных молекулярных изменений не превышает 1-3%. Имеющиеся в распоряжении современной онкологической науки данные убедительно свидетельствуют, что подобные драйверные активирующие мутации являются скорее исключением, чем правилом. Возникновение же большинства опухолей связано с одновременной активизацией множества сигнальных путей, что делает затруднительным или невозможным блокирование их с помощью современных таргетных препаратов [7; 8].

Без всякого сомнения, выделение отдельных групп пациентов, имеющих признаки высокой ожидаемой эффективности лекарственного лечения, в пределах нозологических форм, может играть важнейшую роль для персонализации их лечения. Кроме описанных выше активирующих нарушений, выделение групп пациентов потенциально чувствительных к отдельным классам препаратов может быть основано и на определении другого вида молекулярных нарушений – мутаций в метаболических механизмах. Примером такого вида мутационных изменений, играющих значимую роль среди механизмов канцерогенеза, являются наследственные мутации BRCA1 [9]. Несмотря на то, что механизм возникновения опухолей при их наличии, по-видимому, основан на нарушении репарации ДНК и, как следствие этого, формировании множественных генетических нарушений, направленное блокирование которых невозможно даже теоретически. Однако, само наличие неполноценности этой системы может быть

использовано как мишень для лечения. Как уже было описано выше, применение в этой ситуации цитостатических препаратов из группы алкилирующих агентов, обладающих высокой мутагенной активностью, которая в условиях нарушенных механизмов репарации неизбежно приводит к гибели раковой клетки, позволяет достичь крайне высоких показателей эффективности.

С целью подтверждения гипотезы о необычно высокой чувствительности опухолей молочной железы у носителей мутаций BRCA1 к действию алкилирующих агентов и соответственно целесообразности выделения отдельной группы на основании идентификации этих нарушений нами было проведено проспективное клиническое изучение частоты полных патоморфологических ответов на фоне неоадьювантной монотерапии цисплатином у больных РМЖ. В нашей работе частота полных патоморфологических ответов составила 60% (3/5 пациентов). При этом еще у 2/5 пациентов при гистологическом исследовании операционного материала была выявлена остаточная опухолевая ткань (частичный клинический регресс). Таким образом общая клиническая эффективность составила 100%, что значительно превышает эффективность стандартных схем, используемых с этой целью при РМЖ (доксорубицин + циклофосфамид, доцетаксел + доксорубицин + циклофосфамид) (27-40% и 9-45% соответственно). Важно заметить, что представленные результаты в полной мере согласуются с данными, которые были получены в ранее проведенных исследованиях.

Нельзя не обратить внимание на тот факт, что у большинства больных, которым проводилась терапия в рамках исследований, были идентифицированы мутации BRCA1, среди которых преобладала классическая мутация 5382insC. Результаты эпидемиологических исследований показали, что данный вид наследственных мутаций, является также самым частым и на территории Российской Федерации [10]. Так, в исследовании Burski и соавторов 5382insC была выявлена у 71% больных. В проведенной нами работе у всех (6/6) пациентов присутствовал именно этот вид молекулярного нарушения. У всех включенных пациентов в опухолевой ткани не было выявлено экспрессии PЭ/ПП, HER2, что является следствием, описанных в литературе, молекулярных нарушений BRCA1. Довольно характерным для общей популяции больных с наследственными формами опухолей молочной железы, является несколько более молодой возраст появления образований, что также наблюдалось и в нашей работе, где средний возраст составил 43,3 года (31-54), что значительно ниже среднего значения по популяции [1].

В нашей работе частота полных патоморфологических ответов была несколько выше у больных с поражением лимфатических узлов (клиническое поражение

лимфатических узлов было выявлено у 5-ти из 6-ти исследованных больных, при этом все полные патоморфологические регрессы были выявлены именно у этих больных. При этом у больной без поражения регионарных лимфатических узлов патоморфоз опухоли составил 50%, что по-видимому связано с относительно большими размерами первичной опухоли или гетерогенностью клеточной популяции в опухоли.

При сравнении результатов лечения, полученных в нашей работе, с данными аналогичных исследований необходимо обратить внимание на более высокую дозовую плотность цисплатина. Так, стандартной является доза 75 мг/м² один раз в 21 день, в то время как нами была использована доза 80-100 мг/м² один раз в 21-28 дней. При этом, данное увеличение практически не отразилось на увеличении токсичности терапии. На фоне цисплатина в дозе 80-100 мг/м² все больные закончили запланированное лечение, а профиль токсичности был умеренным. Ни у одной больной на фоне проведенного лечения не наблюдалась фебрильная нейтропения, необратимое снижение гематологических показателей или выраженные проявления нейропатии. Кроме того, использование современных ресурсов симптоматической коррекции в том числе тошноты и рвоты, позволили избежать у большинства больных выраженных проявлений этого вида токсичности.

Таким образом, BRCA1 является важным предиктивным маркером для больных РМЖ, при наличии которого представляется абсолютно оправданным изменение стандартной схемы лечения и включение в нее алкилирующего цитостатика цисплатина. Это позволяет увеличить ожидаемую эффективность планируемого лечения в 1,5-2 раза. А выделение отдельной группы опухолей в зависимости от наличия этого признака в очередной раз подтверждает гетерогенность большинства солидных опухолей, и в частности опухолей молочной железы и яичников, на примере которых в рамках нашей работы было продемонстрировано преимущество алкилирующих агентов.

Аналогичная гипотеза нами была проверена у больных резистентным раком яичников. Как уже упоминалось выше, данные нескольких клинических работ, посвященных изучению эффективности цитостатической терапии алкилирующими агентами больных резистентным раком яичников с мутациями BRCA, показали более высокую эффективность этих препаратов в сравнении со спорадическими формами опухолей. Так как цисплатин является базисным препаратом для лечения больных с опухолью этой локализации и его получают практически все пациенты, то нами был использован дургой алкилирующий цитостатик – митомицин уже на этапе развития резистентности. С целью проверки этой гипотезы нами было проведено проспективное исследование оценки эффективности терапии митомицином С у больных ЭОЯ носителей

мутаций BRCA1 [12]. В работу было включено 12 пациентов, большинство из которых были резистентны к стандартным методам цитостатической терапии - среднее число линий составило 2,58. При этом 5/12 пациентов было проведено 3 более линий терапии, всем больным проводилась терапия препаратами платины, а 7/12 больных получали таксаны. Теоретической основой для применения митомицина С у этих пациентов стали предклинические данные о механизме действия представителей группы митомицина. Представители этой группы препаратов (митомицин А, В и С) формируют внутри- и межпочечные сшивки в молекуле ДНК.

Применение митомицина С для данной категории пациентов позволило достичь объективного ответа у 25% больных, что говорит о несомненной активности препарата у отобранной категории пациентов. Что немаловажно в такой клинической ситуации, частота контроля заболевания составила 75%, а медиана его длительности – 6 месяцев, что значительно превышает ожидаемый эффект любой другой известной терапии (тем более, что согласно международным стандартам этим пациентам рекомендуется симптоматическое лечение). Полученные результаты представляются сравнимыми с данными более ранних исследований других препаратов. Кроме того, у больных, получивших ранее несколько линий цитостатической терапии, митомицин С показал приемлемый профиль токсичности (5/12) и относительно невысокую частоту гематологической токсичности (3/12). Учитывая все сказанное выше, а также отсутствие нефротоксичности среди наиболее частых осложнений митомицина С, использование данного препарата у больных с высокой экспозицией к препаратам платины и цисплатину в частности можно считать относительно безопасным. Таким образом, впервые в условиях проспективного исследования показана принципиальная возможность достижения клинически значимого лечебного эффекта с помощью монотерапии митомицином С у абсолютно безнадежных больных с BRCA1 ассоциированным ЭОЯ. Это позволяет рассматривать данный препарат, как один из дополнительных вариантов терапии у этой категории пациентов.

Ранее в литературе описаны единичные случаи регресса опухоли поджелудочной железы у носителя наследственной мутации PALB2 на фоне монотерапии митомицином С, длительного эффекта от комбинированного режима с включением митомицина С у больного с BRCA2 ассоциированным раком поджелудочной железы. Рассматривая эти эффекты совместно с полученными нами данными о более высокой частоте патоморфологических регрессов у больных с BRCA ассоциированным РМЖ и эффективностью монотерапии митомицином С у интенсивно леченных пациентов с BRCA1 ассоциированными ЭОЯ можно утверждать, что пациенты с наследственными

нарушениями репарации ДНК (мутации BRCA1, BRCA2, PALB2) представляют собой отдельную клиническую и биологическую группу. Мутации BRCA являются нередким явлением среди больных злокачественными опухолями и наблюдаются в среднем 7-10% больных РМЖ и 20% больных РЯ. Поэтому определение наследственных мутаций, выделение отдельной группы пациентов с отличной от прочих чувствительностью к цитостатикам и соответственно тактикой лечения на основании наличия этих маркеров должно стать неотъемлемым этапом обследования больных.

К сожалению, маркеры, которые являются предиктивными для того или иного лекарственного препарата, выявляются далеко не во всех случаях. Примером такого вида злокачественных опухолей являются опухоли толстой кишки. На настоящий момент не идентифицировано ни одного молекулярного нарушения, которое бы позволило выделить группу чувствительную к направленному блокированию. Тем не менее, для опухолей этой локализации выявлен целый ряд факторов, негативно влияющих на эффективность таргетной терапии, и, в первую очередь, направленное воздействие анти-EGFR антителами.

В нашей работе на популяции жителей Северо-Западного региона РФ частота молекулярных нарушений генов RAS, обладающих негативным предиктивным значением для терапии анти-EGFR моноклональными антителами, составила 54,8%, что сопоставимо с результатами предыдущих отечественных и зарубежных исследований. Так, в наиболее крупном ретроспективном исследовании на популяции больных метастатическим раком толстой кишки частота мутаций RAS/RAF составила 47,2%. При этом по данным зарубежных авторов частота молекулярных нарушений может несколько выше и достигать 53% [6]. Одним из возможных объяснений подобных различий может быть относительно позднее выявление опухолей толстой кишки на территории Российской Федерации, что привело к неоперабельному характеру болезни у больных с наиболее агрессивными формами. Кроме того, относительно невысокая частота молекулярных нарушений RAS/RAF, может быть связана с селекцией пациентов на основании отсутствия клинических признаков агрессивного течения.

Тем не менее, результаты большинства исследований сходятся в том, что наиболее частым видом нарушений являются мутации во 2-м экзоне KRAS, частота которых по нашим данным составила 41,1% от общего числа больных, включенных в молекулярный анализ. Кроме того, дальнейшее сужение группы пациентов за счет проведения анализа мутаций NRAS и BRAF приводит к снижению числа кандидатов для терапии моноклональными антителами (хотя и не столько значительно), так как частота мутаций последних составляет 1,3 - 4% для NRAS и 8 - 10% для BRAF [19; 17].

При планировании настоящего исследования нами ставилась задача максимально отсрочить начало химиотерапии в связи с тем, что большинство представлено больными пожилого и старческого возраста с низкой толерантностью к высокотоксичному цитостатическому лечению. Медиана времени до прогрессирования опухоли в нашем исследовании составила 24 недели (6 месяцев). Данные результаты сопоставимы с результатами монотерапии фторпиримидинами в первой лечебной линии, которые были представлены ранее. Так, в рамках этой работы было установлено, что медиана времени до прогрессирования опухоли на фоне монотерапии капецитабином составляет 5,2 месяца, а на фоне терапии по схеме DeGramont 4,7 месяца. Несмотря на более высокую частоту объективных ответов – 18%, достигаемую на фоне цитотоксической терапии, общая частота контроля за заболеванием (ПР + ЧР + Стабилизация) сопоставима с результатами нашей работы. Учитывая ожидаемую продолжительность жизни больных с местнораспространенным и метастатическим раком толстой кишки равную 20 месяцам такой результат нам представляется крайне важным.

Кроме системных методов лечения, которые без сомнения играют значительную роль у больных с неоперабельными стадиями заболевания, в последнее время активно развиваются технологии нехирургического локального лечения опухолей различного происхождения. Среди них локальные методы лучевой терапии (Гамма- и кибер-нож), криодеструкция, химиоэмболизация нанопрепаратами, а также фотодинамическая терапия.

Фотодинамическая терапия является перспективным методом лечения злокачественных опухолей, основанным на применении светочувствительных веществ - фотосенсибилизаторов и лазерного излучения определённых длин волн. При воздействии лазерного излучения на фотосенсибилизатора в присутствии молекулярного кислорода происходит генерация синглетного кислорода, имеющего высокую цитотоксическую активность по отношению к опухолевым клеткам. В основном при проведении процедуры фотодинамической терапии используются лазерные источники света с непрерывным режимом облучения. При использовании высоких плотностей мощности происходит быстрое истощение молекулярного кислорода в опухолевой ткани, что приводит к существенному снижению генерацию синглетного кислорода и эффективности фотодинамической терапии.

Инициативной группой из лаб. нанобиотехнологий Санкт-Петербургского Академического университета НОЦ НТ РАН под руководством Дубины Михаил Владимировича проводятся теоретические и экспериментальные исследования по оптимизации режимов лазерного облучения для повышения эффективности

фотодинамической терапии. Название проекта «Фотодинамическая терапия опухолей в импульсном режиме лазерного облучения». Целью данного проекта является подбор параметров импульсного режима лазерного облучения, позволяющих согласовать фотохимическое потребление кислорода с притоком молекулярного кислорода в опухолевой ткани для увеличения эффективности генерации синглетного кислорода. Основными достигнутыми результатами являются демонстрация повышения эффективности ФДТ в импульсном режиме по сравнению с непрерывным режимом лазерного облучения, а также индизирование преимущественно апоптотической гибели клеток против некротической гибели *in vitro*.

Результаты данного проекта могут быть применены для прогнозирования эффективности фотодинамической терапии и для последующей оптимизации режимов облучения. Главное, что для применения на практике полученных данных по режимам облучения не требует значительных материальных вложений, поскольку большинство установок для ФДТ имеют возможность работы в импульсном режиме.

Таким образом, проведенный анализ позволяет говорить о том, что на сегодняшний момент на территории Санкт-Петербурга поддерживается относительно высокая научная активность. При этом разрабатываемые вопросы касаются, как фундаментальных вопросов онкологии, так и отдельных практических областей.

На базе научных подразделений Санкт-Петербурга проводятся фундаментальные исследования биологии злокачественных опухолей с использованием наиболее современных методов молекулярно-генетического анализа. На основании этих работ сделан вывод о том, что солидные опухоли без активирующих мутаций или единичных нарушений патогенетических механизмов представляют собой крайне гетерогенную группу. При этом, выделение отдельных групп возможно лишь при комплексной оценке молекулярной картины опухолевого процесса. Несмотря на отсутствие реальной возможности использования в настоящее время полногеномного экспрессионного анализа в клинической практике, использование данного подхода, вне всякого сомнения, является одной из немногих существующих на настоящий момент возможностей для стратификации опухолей с целью изучения активности уже существующих и новых лекарственных препаратов.

Активно разрабатываются новые методы и совершенствуются уже существующие подходы к диагностике злокачественных опухолей. В том числе, ПЭТ для диагностики опухолей головного мозга, а также светодиодные светильники со спектрально настраиваемыми характеристиками. Кроме того, с практической точки зрения, активно внедряются новые методы, которые позволят увеличить эффективность уже

существующих методов направленного системного лечения, в том числе за счет идентификации предиктивных молекулярных нарушений. Не остаются без внимания и наиболее современные методы неинвазивного локального лечения злокачественных опухолей, на примере фотодинамической терапии.

Обобщая все сказанное выше, необходимо сказать о значимом научно-техническом заделе в онкологии научных организаций Санкт-Петербурга, позволяющем конкурировать в отдельных областях с наиболее современными мировыми разработками.

Список библиографических источников

1. Чисов В.И., Старинский В.В. Злокачественные новообразования в России в 2013 году (заболеваемость и смертность) // М. -2015.
2. Ali H.R., Provenzano E., Dawson S.J., Blows F.M., Liu B., Shah M., Earl H.M., Poole C.J., Hiller L., Dunn J.A., Bowden S.J., Twelves C., Bartlett J.M., Mahmoud S.M., Rakha E., Ellis I.O., Liu S., Gao D., Nielsen T.O., Pharoah P.D., Caldas C. Association between CD8+ T-cell infiltration and breast cancer survival in 12,439 patients. // Ann Oncol.-2014.-Vol. 25(8), P. 1536-1543.
3. Chabner B.A., Roberts T.G.J. Timeline: Chemotherapy and the war on cancer. // Nat Rev Cancer.-2005.-Vol. 5(1), P. 65-72.
4. Chabner B.A., 2010, Cancer Chemotherapy and Biotherapy: Principles and Practice, Lippincott Williams and Wilkins, Number of Pages 848.
5. DeVita V.T.J., Chu E. A history of cancer chemotherapy. // Cancer Res.-2008.-Vol. 68(21), P. 8643-8653.
6. Douillard J.Y., Oliner K.S., Siena S., Tabernero J., Burkes R., Barugel M., Humblet Y., Bodoky G., Cunningham D., Jassem J., Rivera F., Kocakova I., Ruff P., Blasinska-Morawiec M., Smakal M., Canon J.L., Rother M., Williams R., Rong A., Wizezorek J., Sidhu R., Patterson S.D. Panitumumab-FOLFOX4 treatment and RAS mutations in colorectal cancer. // N Engl J Med.-2013.-Vol. 369(11), P. 1023-1034.
7. Hanahan D., Weinberg R.A. The hallmarks of cancer. // Cell.-2000.-Vol. 100(1), P. 57-70.
8. Hanahan D., Weinberg R.A. Hallmarks of cancer: the next generation. // Cell.-2011.-Vol. 144(5), P. 646-674.
9. Imyanitov E.N., Moiseyenko V.M. Drug therapy for hereditary cancers. // Hered Cancer Clin Pract.-2011.-Vol. 9(1), P. 5.
10. Iyevleva A.G., Suspitsin E.N., Kroeze K., Gorodnova T.V., Sokolenko A.P., Buslov K.G., Voskresenskiy D.A., Togo A.V., Kovalenko S.P., Stoep N., Devilee P., Imyanitov E.N.

- Non-founder BRCA1 mutations in Russian breast cancer patients. // *Cancer Lett.*-2010.-Vol. 298(2), P. 258-263.
11. Moiseyenko V., Prochenko S.A., Levchenko E.V., Barchuk A.S., Matsko D.E., Moiseyenko F.V., Ivantsov A.O., Iyevleva A.G., Mitiushkina N.V., Imyanitov E.N. First-line treatment of EGFR mutation-positive non-small cell lung cancer (NSCLC) by gefitinib // *J Clin Oncol.*-2009.-Vol. 27 (suppl; abstr e19088), P.
 12. Moiseyenko V.M., Chubenko V.A., Moiseyenko F.V., Zhabina A.S., Gorodnova T.V., Komarov Y.I., Bogdanov A.A., Sokolenko A.P., Imyanitov E.N. Evidence for clinical efficacy of mitomycin C in heavily pretreated ovarian cancer patients carrying germ-line BRCA1 mutation. // *Med Oncol.*-2014.-Vol. 31(10), P. 199.
 13. Moiseyenko V.M., Prochenko S.A., Levchenko E.V., Barchuk A.S., Moiseyenko F.V., Iyevleva A.G., Mitiushkina N.V., Togo A.V., Semionov I.I., Ivantsov A.O., Matsko D.E., Imyanitov E.N. High efficacy of first-line gefitinib in non-Asian patients with EGFR-mutated lung adenocarcinoma. // *Onkologie.*-2010.-Vol. 33(5), P. 231-238.
 14. Nahta R., O'Regan R.M. Therapeutic implications of estrogen receptor signaling in HER2-positive breast cancers. // *Breast Cancer Res Treat.*-2012.-Vol. 135(1), P. 39-48.
 15. Perou C.M., Sorlie T., Eisen M.B., van de Rijn M., Jeffrey S.S., Rees C.A., Pollack J.R., Ross D.T., Johnsen H., Akslen L.A., Fluge O., Pergamenschikov A., Williams C., Zhu S.X., Lonning P.E., Borresen-Dale A.L., Brown P.O., Botstein D. Molecular portraits of human breast tumours. // *Nature.*-2000.-Vol. 406(6797), P. 747-752.
 16. Siegel R., Ma J., Zou Z., Jemal A. Cancer statistics, 2014. // *CA Cancer J Clin.*-2014.-Vol. 64(1), P. 9-29.
 17. Sorich M.J., Wiese M.D., Rowland A., Kichenadasse G., McKinnon R.A., Karapetis C.S. Extended RAS mutations and anti-EGFR monoclonal antibody survival benefit in metastatic colorectal cancer: a meta-analysis of randomized, controlled trials. // *Ann Oncol.*-2014P.
 18. Tursz T., Bernards R. Hurdles on the road to personalized medicine. // *Mol Oncol.*-2014P.
 19. Yanus G.A., Belyaeva A.V., Ivantsov A.O., Kuligina E.S., Suspitsin E.N., Mitiushkina N.V., Aleksakhina S.N., Iyevleva A.G., Zaitseva O.A., Yatsuk O.S., Gorodnova T.V., Strelkova T.N., Efremova S.A., Lepenchuk A.Y., Ochir-Garyaev A.N., Paneyah M.B., Matsko D.E., Togo A.V., Imyanitov E.N. Pattern of clinically relevant mutations in consecutive series of Russian colorectal cancer patients. // *Med Oncol.*-2013.-Vol. 30(3), P. 686.

7.2 Перспективные направления развития фундаментальных исследований применительно к современным потребностям кардиологии

По статистике сердечно-сосудистые заболевания сегодня занимают одно из первых мест в мире и является основной причиной преждевременной смерти и инвалидизации населения в развитых странах, в том числе и в Российской Федерации. При этом эта печальная статистика показывает, что на болезни сердца влияет не столько качество, сколько образ жизни. Только наличие мощной инструментальной и теоретической базы, научно-исследовательских центров, позволит как можно более четко объединить теорию и практику для достижения здоровья сердца. С этой точки зрения наиболее значимыми кардиоцентрами в мире являются: -Deutsches Herzzentrum Berlin - Берлинский кардиоцентр с мировым именем, специализирующийся, в том числе, на вопросах пересадки сердца и легких; - HDZ NRW - кардиологический центр Бад Ойнхаузена в Германии, который помимо практической работы, тесно сотрудничает в научно-исследовательской плоскости с университетом Бохума; - Deutsches Herzzentrum München - еще один германский центр, являющийся комплексом клиник и институтов Мюнхена и региона; - Universitäts-Herzzentrum Freiburg - германский кардиоцентр, объединяющий лучших специалистов и оборудование из Фрайбурга и Бад Кроцингена, имеет мощную инструментальную и теоретическую базу, что позволяет как можно более четко объединять теорию и практику для достижения здоровья сердца; -American Hospital - Стамбульский международный кардиоцентр, сочетающий лучшее оборудование и специалистов в регионе; - Assaf harofeh medical center - один из крупнейших медицинских центров Израиля, уделяющий большое внимание, помимо всего, кардиологии; - Assuta - самый большой и современный частный кардиоцентр Израиля, объединяющий лучших специалистов и оборудование; - Premium health solutions - австрийский частный кардиоцентр, специалисты которого делают основной упор на малоинвазивные методы лечения и диагностики; - Кливлендская клиника (Cleveland Clinic) США – многопрофильный медицинский центр, сочетающие предоставление высококачественного медицинского обслуживания с проведением научно-исследовательской и образовательной работы. Располагает аккредитацией Joint Commission Organization (JCO). По качеству кардиологической и кардиохирургической помощи Cleveland Clinic является клиникой «номер один» в США; -Кардиологический центр в Израиле при государственной больнице имени Хаима Шибя. Детские кардиологические центры «Сафра», «Майер», позволяют проводить операции высокого уровня, а также обеспечивают амбулаторное наблюдение маленьких пациентов; - Институт кардиологии «Рамбам», Израиль имеет широкий

профиль и самую современную диагностику: трехмерный ультразвук и эхография через грудную клетку и пищевод, доплерография, а также многие другие исследования; - Кардиологическая клиника Нидерберг, Германия, являясь научно-академической базой Университета г.Эссена, клиника НИДЕРБЕРГ предлагает только самые новейшие технологии и методы лечения. Регулярно обновляемая аппаратура ведущих мировых производителей и постоянное повышение квалификации врачей ставит клинику в число передовых учреждений данного профиля; - Немецкий кардиологический центр в Мюнхене. Сегодня он является одним из ведущих кардиохирургических центров мира. В 1981 году именно здесь была произведена первая успешная операция по пересадке сердца в Германии. -Российский кардиологический научно-производственный комплекс (РКНПК) МЗ РФ (Москва), крупнейшее, ведущее кардиологическое учреждение страны, научное объединение, призванное обеспечить создание новых эффективных методов и средств профилактики, диагностики и лечения основных заболеваний сердечно-сосудистой системы; -Кардиологический центр ОАО Медицина – Москва, успешно диагностирует и лечит болезни сердечнососудистой системы и обладает уровнем 5 звезд по оценке EFQM. Лечение в клинике полностью соответствует международному стандарту качества ISO 9001:2000; технологии, методики и возможности соответствуют уровню лучших мировых клиник; - РНПЦ "Кардиология" - белорусский кардиоцентр в Минске, специализирующийся на лечении ИБС, недостаточности, гипертензии, а также системе реабилитации; - Кардиологический центр в Тюмени - ведущий региональный и мировой лидер в области наиболее технологичного лечения ИБС, аритмии, недостаточности; - ННИИПК им. Мешалкина - Новосибирский кардиоцентр, который является крупнейшим в стране научно-исследовательским, учебным и практическим центром в области сердечно-сосудистой хирургии, трансплантологии.

Ведущим кардиологическим центром в Северо-Западном регионе РФ является основанный в 1980 году в Санкт-Петербурге НИИ кардиологии Минздрава РФ, сегодня ФГБУ «Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии им.В.А.Алмазова» Минздрава РФ – научно-лечебное учреждение, целью деятельности которого являются фундаментальные и прикладные исследования в области кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии, гематологии, ревматологии, эндокринологии, педиатрии, молекулярной биологии и генетики, клеточных, информационных и нанотехнологий; оказание специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи населению; подготовка научных, врачебных кадров и среднего медицинского персонала в рамках создания современной системы непрерывного последипломного медицинского образования.

ФГБУ «Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии им.В.А.Алмазова» объединяет 6 институтов - Институт сердца и сосудов, Институт молекулярной биологии и генетики, Институт экспериментальной медицины, Институт эндокринологии, Институт гематологии, Институт перинатологии и педиатрии - включающих свыше 50 научно-исследовательских отделов, лабораторий, секторов и групп; штат научных сотрудников составляет 517 человек, штат клиники – около 4000 человек - врачей, среднего, младшего медицинского и вспомогательного персонала; в центре работают 2 академика РАМН, 59 докторов и 129 кандидатов медицинских наук.

В учреждении создана известная в России и за рубежом научная школа, отличительными чертами которой является междисциплинарный подход к комплексному решению актуальных научно-практических проблем современной медицины на основе технологий «прорывного характера», имеющих фундаментальное значение для научного обеспечения оказания высокотехнологичной медицинской помощи. Новым направлением работы Центра являются исследования в области трансляционной медицины.

С 2011 года Центр, в котором ведутся интенсивные исследования в области технологий молекулярной диагностики, разработки диагностических средств персонализации терапии, клеточной и тканевой инженерии для терапевтических целей, создания биосовместимых материалов и тканеинженерных конструкций, участвует в реализации технологической платформы в сфере биотехнологий «Медицина будущего». Центр также активно участвует в проекте создания региональной биотехнологической платформы и биокластера; на базе Центра организован и банк биологических образцов – тканей, клеток и генетического материала.

В соответствии с решением Научно-технического совета при Правительстве Санкт-Петербурга от 16 апреля 2008 года, на базе ФГУ «Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии имени В.А.Алмазова» создан «Научно-практический комплекс по разработке нанотехнологий в биологии и медицине».

В знак признания международного авторитета в области изучения артериальной гипертензии в 2008 году ФГУ «Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии имени В.А.Алмазова» первым из российских научно-лечебных учреждений был удостоен Европейским обществом по артериальной гипертензии (European Society of Hypertension) статуса «ESH Hypertension Excellence Centre».

Международное сотрудничество центра осуществляется в области совместных научных разработок и образовательных программ с Каролинским институтом (Стокгольм, Швеция), Йельским университетом (США) - в области подготовки специалистов по профилям сердечно-сосудистая хирургия и рентгеноэндоваскулярная хирургия;

Университетом Луи Пастера в Страсбурге (Франция) - в области трансплантологии; с Кардиологическим центром Милана (Италия), Университетами Феррары (Италия), штата Айова (США), Лунда (Швеция), Осло (Норвегия), Немецким Институтом питания человека (Берлин, ФРГ) – в области фундаментальной и прикладной медицинской науки.

ФГБУ «Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии имени В.А.Алмазова» является головным учреждением с российской стороны в выполнении международного совместного проекта 7-й Рамочной Программы ЕС и Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы.

Основой образовательной деятельности ФГУ «Федеральный центр сердца, крови и эндокринологии им. В.А.Алмазова» является работа, направленная на решение задачи, поставленной Минздравом РФ, по модернизации системы непрерывной междисциплинарной подготовки медицинских кадров, ориентированной на повышение качества и увеличение объемов оказания высокотехнологичной медицинской помощи, подкрепленной соответствующим методическим, кадровым и техническим обеспечением.

Уникальная материально-техническая база Центра, в совокупности с имеющимся научно-клиническим потенциалом, предоставляет возможность реализации мультидисциплинарного принципа оказания высокотехнологичной медицинской помощи в единой структуре Центра, что предопределило в 2007-2013 гг. существенное расширение спектра, увеличение объемов и повышение экономической эффективности высокотехнологичной медицинской помощи.

Стационарная специализированная медицинская помощь оказывается по 61 виду работ (услуг), оказываемой жителям 58 регионов РФ.

В период с 2007 по 2011 гг. объем оказания стационарной специализированной медицинской помощи в клинике увеличился почти в 3 раза, за этот же период количество пациентов, получивших амбулаторную помощь в консультативно-поликлиническом отделении, увеличилось в 7 раз.

С 2009 года в центре успешно проводятся операции по пересадке сердца. Перспективные направления дальнейшего совершенствования высокотехнологичной медицинской помощи включают мультиорганную трансплантацию, внедрение малоинвазивных вмешательств, гибридных операций, применение роботизированных систем, телеманипуляторов; разработку новых способов защиты миокарда и мозга с помощью пре- и посткондиционирования.

Что особенно важно, в настоящее время в центре разрабатывается персонализированный подход к диагностике и лечению больных сердечно-сосудистыми

заболеваниями, что позволит кардинально изменить ситуацию, связанную с оказанием помощи этой категории больных, и разработать программу профилактических мероприятий. Персонализированный подход может быть обеспечен по трем основным направлениям: 1) путем внедрения инновационных методов диагностики с использованием геномных, транскриптомных, протеомных и метаболомных технологий 2) выявления конкретного молекулярно-генетического дефекта, ответственного за ту или иную патологию, включая идентификации новых мутаций в российской популяции с целью выявления редких заболеваний и разработки таргетной их терапии и 3) путем индивидуализации или персонализации рекомендаций по профилактике и лечению сердечно-сосудистых заболеваний с использованием индивидуально-ориентированных лечебных технологий. К подобным разработкам можно отнести технологии индивидуализированного подбора времени и режима терапии на основе хронобиологических ритмов, применение инновационных навигационных методов поиска источника нарушений ритма, технологии контроля жизненно-важных функций и др. Все три составляющие персонализированного подхода могут быть применены к большинству сердечно-сосудистых заболеваний и к любому этапу лечебно-диагностического процесса, начиная от раннего выявления и профилактики и заканчивая технологиями реабилитации. При этом персонализация подхода в диагностике, лечении и профилактики представляется актуальной задачей как для таких социально-значимых заболеваний, как артериальная гипертензия и ишемическая болезнь сердца, так и для редких (орфанных), но жизнеопасных заболеваний.

7.2.1 Актуальность проблемы для данной отрасли знаний, научная значимость решения проблемы

Сердечнососудистые заболевания занимают лидирующее положение в структуре общей смертности. Эта проблема в равной степени затрагивает страны с высоким и низким уровнем доходов. Ежегодно от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации умирает около 1 млн. человек, что составляет 56,7% от всех зарегистрированных смертей [1]. По оценке Всемирной организации здравоохранения к 2030 году от сердечно-сосудистых заболеваний в мире может умереть около 23,6 миллионов человек. Установление истинных причин развития заболеваний сердца и сосудов, а также механизмов их прогрессирования составляет основу современной персонализированной медицины, которая неразрывно связана с использованием геномных, транскриптомных, протеомных и метаболомных технологий. Для целого ряда заболеваний, которые ранее рассматривались в рамках дисэмбриогенеза сердца и сосудов или признавались идиопатическими, в настоящее время установлена генетическая

причина. В кардиологии наиболее ярко эта тенденция прослеживается на примере таких заболеваний, как врожденные пороки сердца, патология аорты и выходного тракта левого желудочка, кардиомиопатии, легочная артериальная гипертензия, отдельные формы нарушений ритма и и даже синдром внезапной смерти. По данным Европейского общества кардиологов стратификация риска с учетом генетических детерминант позволяет сэкономить значительные средства здравоохранения за счет снижения случаев внезапной смерти и инвалидизации пациентов в молодом возрасте. Кроме того, выявление генетической природы заболевания определяет выбор метода лечения, позволяет избежать необоснованного применения дорогостоящих вспомогательных устройств (дефибрилляторы, ресинхронизаторы, левожелудочковый или бивентрикулярный обход, экстракорпоральная мембранная оксигенация) и упрощает отбор больных на трансплантацию сердца. На смену рутинному кариотипированию в последние два десятилетия пришли таргетные молекулярные технологии, позволяющие выявить изменения генома. Высокая пропускная способность экономичных технологий секвенирования, так называемого секвенирования нового поколения, сделало возможным изучение всего генома. Благодаря этой технологии, которая быстро транслируется из научно-исследовательской сферы в клиническую практику, происходит расширение наших представлений о многообразии фенотипических проявлений классических генетических синдромов, что особенно актуально для диагностики и выбора индивидуальных методов профилактики врождённых заболеваний сердца [2,3]. В частности, пренатальный анализа ДНК плода в сыворотке матери с помощью технологии секвенирования нового поколения для диагностики анеуплоидии первом триместре беременности уже сегодня позволит существенно уменьшить рождаемость детей с грубой наследственной патологией. Подобный подход может быть применен и на этапе преимплантационной диагностики в рамках вспомогательных репродуктивных технологий. Классическим примером важности генетического обследования при выборе метода лечения может быть такая патология, как аневризма аорты, которая по частоте развития фатальных осложнений устойчиво занимает 18 место, опережая даже такое грозное заболевание как СПИД [4]. Патогенетические механизмы, лежащие в основе ее формирования, до сих пор остаются недостаточно изученными. Приблизительно в 5% случаев расслоение восходящего отдела аорты связано с моногенными заболеваниями соединительной ткани такими, как синдром Марфана [5]. Возникает вопрос, можно ли объяснить генетическими расстройствами формирование аневризм грудной аорты у оставшихся 95%? Американская ассоциация кардиологов отвечает на этот вопрос утвердительно. К настоящему времени в США обследовано около 500 генеалогических

деревьев пациентов с аневризмой грудного отдела аорты. Установлено, что у 21% пациентов есть, по меньшей мере, один родственник с известной аневризмой аорты различной локализации [6]. С учетом высокой смертности среди пациентов с диссекцией аневризмы аорты, нередко достигающей 94-100%, рекомендуется проводить профилактические хирургические вмешательства. Стратегию лечения больного на сегодняшний день определяет величина максимального размера аневризмы аорты. В то же время, существует мнение, что данный параметр не должен быть основным аргументом при установлении показаний к профилактическому хирургическому лечению аневризмы аорты, так как в большинстве случаев диссекция возникает при меньших значениях диаметра аорты. В соответствии существующими рекомендациями генетическому обследованию с целью выявления мутаций в 6 основных кандидатных генах: гена фибриллина-1(FBN1), рецепторов 1 и 2 типа трансформирующего ростового фактора-(TGFB1, TGFB2), коллагена 3 типа (COL3A1), гладкомышечного актина аорты (ACTA2), гладкомышечного миозина (MYH11) [7], сегодня подлежат все больные с семейными случаями аневризмы аорты, что является чрезвычайно дорогостоящей и трудоемкой работой, и не снижает риск развития диссекции при аневризмах аорты спорадического характера. Внедрение новых методов быстрой детекции генетических мутаций, основанных на GeneChip технологии, позволит уменьшить время, затрачиваемое на выполнение генетического анализа, что обеспечит проведение популяционных исследований, которые могут изменить алгоритм лечения больных с аневризмой восходящего отдела аорты. Вместе с тем, существующая в настоящее время в Российской Федерации система медико-генетического консультирования не обеспечивает раннего выявления наследственной патологии в группах высокого риска, что затрудняет внедрение надежных методов профилактики. Актуальность изучения так называемых орфанных моногенных синдромов не вызывает сомнений, но большинство сердечно-сосудистых заболеваний принадлежит к заболеваниям с полигенным типом наследования, в развитии которых важное значение имеют факторы окружающей среды. Вместе с тем, в настоящее время получены убедительные доказательства существования наследственной предрасположенности для большинства факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе артериальной гипертензии, дислипидемии, сахарного диабета, ожирения и курения [8-12]. По данным Фрамингемского исследования использование данных семейного анамнеза увеличивает предсказательную ценность при стратификации риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, что особенно важно у больных с умеренным риском: уровень доказательности В [13]. Кроме того, вариабельность распространения ряда сердечно-сосудистых заболеваний и, в частности

ишемической болезни сердца, среди различных этнических групп подтверждает гипотезу о существовании генетической предрасположенности [14]. Новейшие научные исследования показали, что в основе атерогенеза лежат два взаимосвязанных процесса: нарушение метаболизма липидов и воспаление сосудистой стенки. Методологический прогресс позволил проанализировать участие отдельных молекул в патогенезе атеросклероза на моделях генетически-модифицированных животных, в то время как технологический прогресс и, в первую очередь развитие методики полногеномного поиска ассоциаций (Genome-wide association study, GWAS), выявил ряд генов, играющих важную роль в развитии атеросклероза у человека. Снижение затрат на проведение полногеномного секвенирования позволяет использовать этот метод для выявления генетической предрасположенности в развитии заболевания [15]. Можно предположить, что выявление генетических маркеров сердечно-сосудистых заболеваний позволит повысить мотивацию пациентов к модификации образа жизни и лечению, а также откроет дополнительные возможности для создания персонализированной медицины. В мире проведены сотни широкогеномных исследований, анализирующих связь генетических вариаций с возникновением различных заболеваний. В результате показано, что вклад таких ассоциаций невелик, но отличается между собой в различных популяциях. Полученные данные способствовали росту интереса к редким генетическим полиморфизмам в происхождении заболеваний, а именно их роли в изменении функции соответствующего белкового продукта. Современные методы геномного анализа позволяют одновременно получать большой объем информации о структурных вариантах тысяч генов в геноме человека. Наиболее трудная задача в процессе биоинформационной обработки данных - доказать причинную роль выявленных генетических замен. Это связано с наличием в геноме человека множества аллельных вариантов генов и вариантов с неопределенной значимостью (Variant of Unknown Significance- VOUS), которые отражают этногеографические особенности. Выявление данных особенностей в генофонде России является крайне актуальной научной задачей. Только после выявления данных особенностей населения России возможно проведение дальнейшей работы по изучению причинных мутаций, приводящих к развитию тяжелых орфанных заболеваний и редкой врожденной патологии. Подобные исследования в российской популяции не проводились, их выполнение при условии сочетанного подхода широкогеномных исследований и фенотипирования факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний позволит внести существенный вклад, в том числе в фундаментальное понимание роли генетических полиморфизмов в генез предрасположенности к хроническим неинфекционным заболеваниям. Отдельной задачей широкогеномных исследований является разработка

математических алгоритмов и статистических методов, способных оценить взаимодействие между несколькими генетическими маркерами в человеческом геноме. Эти биоинформационные технологии создают новое направление в персонифицированной медицине. Суммирование эффектов разных аллелей приводит к созданию мультилокусных шкал генетического риска заболеваний, что представляет собой самостоятельную задачу персонифицированной медицины. Изучение механизмов реализации выявленных генетических мутаций/замен в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний остается не менее важной задачей, в решении которой помогут исследования *in vitro* на первичных культурах клеток, полученных от пациентов с известными мутациями, и *in vivo* на моделях трансгенных экспериментальных животных.

Таким образом, валидация известных генетических маркеров риска в рамках широкогеномных исследований в дальнейшем позволит разработать высокопроизводительные скрининговые системы на основе чиповых технологий и выявлять группы высокого риска развития сердечно-сосудистого заболевания для его целенаправленной профилактики на основе персонифицированного подхода. Однако в нашей стране существует большой разрыв между возможностями центров геномной диагностики в практическом здравоохранении и крупными научными центрами фундаментальных исследований, располагающих на сегодняшний день необходимым опытом, лабораторной базой и методическими возможностями для выполнения подобного рода исследований. Помимо собственно генома, риск развития полигенных заболеваний определяется целым рядом эпигенетических факторов и воздействий окружающей среды. Эти факторы включают модификацию самой ДНК и хроматина, модификацию гистонов, посттранскрипционные изменения РНК, посттрансляционные изменения белков, воздействие регуляторных РНК молекулы (микроРНК). В связи с этим для полного понимания механизма развития заболевания необходимо иметь возможность изучения не только генома, но и транскриптома, протеома и метаболома. Классическим примером подобного подхода могут быть случаи сердечной недостаточности, генез которой остается неясным. Наряду с проведением генетических исследований, этим пациентам показано выполнение эндомикардиальной биопсии с гистологическим и иммуногистохимическим анализом для исключения воспалительных заболеваний миокарда [16]. Исследование экспрессии генов при миокардитах, выполненное с помощью гибридизации кДНК на микрочипах, позволило выявить целый ряд генов, экспрессия которых изменяется в пораженных кардиомиоцитах [17]. Кроме того, патологические изменения профиля транскрипции в кардиомиоцитах могут модулировать транскрипцию в клетках крови [18,19]. Таким образом, внедрение в клиническую практику молекулярно-биологических методов

исследования биоптатов миокарда позволит не только изучить механизмы патологического ремоделирования миокарда, но и разработать перспективные неинвазивные методы диагностики воспалительных заболеваний миокарда с целью прогнозирования их развития и выбора оптимального метода лечения.

Выводы, извлеченные из результатов современных молекулярно-генетических исследований, могут быть приспособлены для управления экспрессией генов. На сегодняшний день существует несколько инструментов, доступных для селективного воздействия: ингибирование с помощью малых интерферирующих РНК и микроРНК. Основным препятствием для использования этих молекул в клинике - отсутствие безопасных и надежных средств для их доставки к клеткам-мишеням. В связи с этим весьма перспективным представляется использование аптамеров нуклеиновых кислот, коротких, одноцепочечных РНК или ДНК олигонуклеотидов, которые путем связывания с молекулами-мишенями выступают в качестве потенциальных антагонистов, ассоциированных с заболеваниями белков. Кроме того, из-за высокой специфичностью связывания, аптамеры представляют собой идеальное средство селективной доставки терапевтических средств, в том числе микро/siРНК, химиопрепаратов и наночастиц, потенциально увеличивая эффективность терапии, параллельно снижая ее токсичность. Постоянно расширяющаяся область исследований микроРНК позволила выявить значительный вклад этих молекул в широком диапазоне физиологических и патологических процессов, происходящих в сердце и сосудах. В контексте биологии сердца микроРНК оказались эффективными регуляторами экспрессии генов в ходе эмбриогенеза сердца, возникновении и прогрессировании сердечной недостаточности. Эти данные существенно изменили наши представления о патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний, а также позволили надеяться, что микроРНК смогут стать не только перспективными диагностическими и прогностическими маркерами, но и мишенью для терапевтических воздействий [20,21].

В связи с развитием персонализированного ведения пациентов особое внимание уделяется поиску потенциальных биомаркеров. Если первоначально биомаркерам отводилась роль диагностических показателей, позволявших с большей точностью и эффективностью выявить то или иное патологическое состояние (например, оценка уровня тропонинов позволяет диагностировать инфаркт миокарда у лиц с симптомокомплексом, характерным для острого коронарного синдрома), то в настоящее время все больше обсуждается возможность использования специфических биомаркеров для стратификации риска, прогнозирования исходов и оценки эффективности проводимых лечебных мероприятий. Крайне перспективным представляется изучение новых

генетических маркеров и, в частности микроРНК, а также биомаркеров, применяемых в протеомике и метаболомике с использованием высокотехнологических подходов. Именно на комплексное применение различных биомаркеров в настоящее время возлагают большие надежды в отношении прогностической оценки эффективности и безопасности проводимой терапии. Однако открытым остается вопрос целесообразности внедрения этих методов с учетом «затрат и эффективности». Основным направлением персонализированного подхода должна стать «предиктивная медицина», которая позволяет выявить заболевание на латентной стадии («предболезнь») и в подавляющем большинстве случаев ускользает от внимания врачей. Скрытый период болезни дает возможность получать новые сведения о биомаркерах заболеваний. Раннее выявление заболевания или предрасположенности к нему позволит эффективно проводить первичную профилактику.

Современная эра развития медицины базируется на принципе доказательной медицины и предполагает внедрение клинических рекомендаций, технологий лечения, основанных на результатах клинических исследований. Подобный подход, который наиболее широко внедрен в кардиологии, сделал огромный прорыв в снижении заболеваемости и смертности населения развитых стран. Однако результаты клинических исследований помогают сформулировать стандартные показания и противопоказания к тем или иным исследованиям и методам воздействия, тогда как они не учитывают индивидуальность ответа на один и тот же метод лечения в зависимости от генетических особенностей, а также индивидуальную переносимость лечения, связанную с особенностями организма пациента.

Наличие индивидуальности фармакологического ответа, биоритмов и многие другие персонифицированные факторы приводят к тому, что среднестатистические эффекты весьма действенного лечения могут оказываться незначимыми в определенных подгруппах, что может приводить к необоснованному назначению ряда процедур и лечебных воздействий лицам, у которых эффекта ожидать не следует. Раннее выявление «ответчиков» и «не ответчиков на терапию», лиц в повышенном риске побочных эффектов не только приводит к повышению эффективности терапии, но и к существенному снижению затрат на неоправданные обследования и вмешательства, а также на лечение их потенциальных осложнений. Именно на определении индивидуального ответа на лечение и на прогнозировании побочных его эффектов сосредоточены сегодня актуальные исследования в области фармакогенетики и фармакогеномики, которые в области сердечно-сосудистых заболеваний достигли уже определённых успехов, в первую очередь, в отношении прогнозирования эффектов

антикоагулянтов и дезагрегантов, а также средств, используемых для лечения сердечной недостаточности. В частности, индивидуальные различия в эффективности антиагрегантной терапии могут быть связаны с полиморфизмами генов, кодирующих метаболизм ацетилсалициловой кислоты и клопидогреля: циклооксигеназы-1, циклооксигеназы-2; гликопротеинов Ib альфа, Ia/IIa и IIb/IIIa; UGT1A6*2, P2Y(1), P2Y(12), CYP2C9, CYP3A4 and CYP3A5. Подтверждением данному факту служит связь между носительством CYP2C19*2 и повышенным риском тромбоза коронарного стента после его имплантации [22]. Большой частотой развития неблагоприятных сердечно-сосудистых осложнений на фоне терапии клопидогрелем сопровождается и носительство аллелей CYP2C19 *2, *3, *4, *5 у больных с острым инфарктом миокарда, о чем свидетельствуют данные Французского регистра [23].

В метаболизме лекарственных препаратов принимают участие десятки различных ферментов, в основном локализованных в гепатоцитах. Выделяют две фазы детоксикации – биотрансформацию и конъюгацию. Ключевая роль в биотрансформации принадлежит цитохромам, а в конъюгации – трансферазам (например, глюкуронил-трансферазе). В настоящее время уже разработаны первые портативные приборы для экспресс-анализа генотипа пациента перед назначением определенных лекарственных препаратов. Пионером в разработке таких методов выступила компания Roche, создавшая прибор для экспресс-выявления полиморфизмов гена цитохрома P450 в геномной ДНК, полученной из цельной крови. Результаты генетического тестирования следует учитывать при назначении препаратов, метаболизирующихся в печени (β -блокаторы, антидепрессанты, анальгетики и др.) [24, 25]. В последние годы происходит смещение интереса от изучения роли отдельных генов в метаболизме лекарств к изучению полигенных влияний на эффективность лечения. Такой подход получил название фармакогеномного. Фармакогеномика имеет колоссальное значение в процессе разработки новых лекарств. Известно, что более 80% лекарств не достигают рынка. Поэтому требуется дополнительное прогнозирование их эффективности и токсичности, уменьшение числа пациентов для проведения клинических исследований и, наконец, уменьшение затрат времени и финансовых средств. Фармакогеномика со временем заставит забыть о лекарствах-блокбастерах и будет способствовать более быстрому внедрению новых препаратов. В настоящее время при наличии большого числа пациентов, не отвечающих на терапию новым препаратом, или при наличии значительного числа побочных эффектов происходит отказ от дальнейших испытаний. В фармакогеномную эру будет возможно продолжение исследований за счет исключения пациентов, имеющих высокий риск развития осложнений. Распространенность заболеваний, связанных с риском

тромбоэмболических осложнений в артериальном и венозном русле, увеличивается с каждым годом и является основной причиной инвалидизации и смерти населения в средней и старшей возрастных группах. Многие из этих заболеваний (атеротромботические поражения сосудистого русла, тромбозы глубоких вен, тромбэмболия легочной артерии, искусственные клапаны сердца, фибрилляция предсердий и другие) в основе имеют гиперкоагуляционные нарушения гемостатических реакций и ложатся тяжелым экономическим бременем, увеличивая расходы на лечение осложнений (инфаркт, ишемический инсульт, критическая ишемия нижних конечностей, посттромботический синдром, легочная гипертензия, репротезирование клапанов и т.д.) и сводят на нет результаты высокотехнологичных хирургических вмешательств. Эффективной мерой лечения и профилактики как первичных, так и вторичных эпизодов тромбэмболии является использование антитромботических препаратов, среди которых основное место занимают антитромбоцитарные средства и оральные антикоагулянты. Однако ответ организма на эти средства не всегда предсказуем и зависит от индивидуальной чувствительности или резистентности к препаратам [25]. В связи с этим актуальной задачей является создание модели персонифицированной стратификации риска, алгоритма профилактики у пациентов высокого риска и управления антитромботической терапией.

Особое значение изучение фармакогенетики и фармакокинетики лекарственных препаратов имеет для детской кардиологии. Проведение подобных исследований поможет разработать алгоритмы дозирования лекарственных препаратов у детей и беременных женщин с учетом особенностей возраста и генотипа.

Кроме того, известно, что эффект от применения лекарственных препаратов в разное время суток различен. В связи с этим по-прежнему актуальными остаются проблемы хронобиологии и хронотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях, и прежде всего при артериальной гипертензии [26].

Оценка состояния адаптационных систем организма, участвующих в выполнении физической нагрузки у больных хронической сердечной недостаточностью (ХСН), а также разработка физиологически обоснованных подходов к составлению индивидуализированных программ физической реабилитации, интегрированных в программы комплексной реабилитации, представляется чрезвычайно актуальным. Определение резервов биологической адаптации к физической нагрузки (эргоспирометрия, исследование газов крови, биопсия икроножной мышцы, исследование экспрессии ключевых генов, отвечающих за регуляцию развития/дифференцировки мышечной ткани и обмен веществ в мышечной ткани до программы реабилитации и после

выполнения программы реабилитации) позволит выявить молекулярные механизмы, лежащие в основе эффективности реабилитационных программ [27,28]. Актуальным может быть изучение экспрессии генов метаболизма: CS, HK2, PDK4, SLC2A4 (GLUT4); «быстрых» мышечных волокон: ATP2A1, MYH1, MYH2, TNNT2, TNNT3; «медленных» мышечных волокон: MB, MYH1, TNNC1, TNNT1; миогенеза: BCL2, BMP4, MEF2C, MSTN, MUSK, MYF5, MYF6, MYOD1, MYOG, PAX3, PAX7, PPP3CA; аутокринного сигналинга: ADIPOQ, IL6, MSTN, что позволит разработать тест-систему для определения резервов биологической адаптации к физической нагрузке. Научные исследования в этой области позволят правильно планировать физические нагрузки у пациентов с сердечно-сосудистой патологией и способствовать увеличению адаптационных резервов. Полученные результаты могут стать основой для создания персонализированных тренировочных программ физической реабилитации пациентов с сердечной недостаточностью и другими сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Развитие материально-технической базы здравоохранения, внедрение современных ИТ-технологий в работу практического врача – одна из важнейших составляющих проекта персонализированной медицины. Речь идет о создании единых электронных медицинских карт, общей базы данных генетических исследований, регистров больных с орфанными заболеваниями и развитии системы дистанционного биомониторинга с использованием различных аксессуаров, в т.ч. и мобильных телефонов.

7.2.2 Научная проблема, на решение которой направлен проект

Проект посвящен созданию научной базы для внедрения нового персонализированного подхода к профилактике, диагностике, лечению и реабилитации больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями на основе изучения патофизиологических особенностей, метаболизма и генетической предрасположенности конкретного пациента и его функциональных возможностей. Внедрение такого подхода позволит существенно улучшить результаты профилактики и лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы, а также снизить затраты на их диагностику и лечение.

7.2.3 Ожидаемые результаты и их значимость

В рамках проекта предполагается разработать новые алгоритмы персонализированного лечения и прогнозирования течения целого ряда заболеваний сердца и сосудов, выявить и оценить диагностическую значимость новых биомаркеров, в том числе и генетических, разработать алгоритмы персонализированного динамического наблюдения за пациентами с хроническими сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Полученные результаты помогут выявить новые мишени для снижения сердечно-сосудистого риска у больных с высокой частотой развития сердечно-сосудистых событий и осложнений, что важно не только с точки зрения создания нового научного направления, но и имеет важное социально-экономическое значение, с учетом лидирующего положения сердечно-сосудистых заболеваний в структуре смертности и утраты трудоспособности.

Список библиографических источников

1. Сайт Министерства здравоохранения РФ, 2012
2. Ware S.M., Jefferies J.L. New Genetic Insights into Congenital Heart Disease// J Clin Exp Cardiol.- 2012.-S8. pii: 003.
3. Sturm A.C. Genetic testing in the contemporary diagnosis of cardiomyopathy//Curr Heart Fail Rep.- 2013.-Vol.10, N1.-P.63-72.
4. Minino A.M., Heron M.P., Murphy S.L., Kochanek K.D.; Centers for Disease Control and Prevention National Center for Health Statistics National Vital Statistics System. Deaths: final data for 2004//Nat'l Vital Stat Rep.- 2007.-Vol.55, N19.-P.1-119.
5. [Hagan P.G.](#), [Nienaber C.A.](#), [Isselbacher E.M.](#) et al. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): new insights into an old disease// [JAMA](#).- 2000.-Vol.283, N7.-P.897-903.
6. Kroner B.L., Tolunay H.E., Basson C.T. et al. The National Registry of Genetically Triggered Thoracic Aortic Aneurysms and Cardiovascular Conditions (GenTAC): results from phase I and scientific opportunities in phase II// Am Heart J.- 2011.-Vol.162, N4.-P.627-632.
7. [Hiratzka L.F.](#), [Bakris G.L.](#), [Beckman J.A.](#) et al. Guidelines for the Diagnosis and Management of Patients With Thoracic Aortic Disease// J. Am. Coll. Cardiol.- 2010.-Vol.55, N14.-P.e27–e129.
8. Coady S.A., Jaquish C.E., Fabsitz R.R. et al. Genetic variability of adult body mass index: a longitudinal assessment in framingham families//Obes Res.- 2002.-Vol.10, N7.-P.675-681.
9. Harrison T.A., Hindorff L.A., Kim H. et al. Family history of diabetes as a potential public health tool//Am J Prev Med.- 2003.-Vol.24, N2.-P.152-159.
10. Munafo M.R., Flint J. Meta-analysis of genetic association studies// Trends Genet.- 2004.-Vol.20,N9.-P.439-444.
11. Weiss L.A., Pan L., Abney M., Ober C. The sex-specific genetic architecture of quantitative traits in humans//Nat Genet.- 2006.-Vol.38, N2.-P.218-222.

12. Shih P.A., O'Connor D.T. Hereditary determinants of human hypertension: strategies in the setting of genetic complexity// *Hypertension*.- 2008.-Vol.51, N6.-P.1456-1464.
13. Greenland P., Alpert J.S., Beller G.A. et al. 2010 ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults// *J Am Coll Cardiol*.- 2010.- Vol.56, N25.-P.e50-103.
14. Coronary Artery Disease (C4D) Genetics Consortium. A genome-wide association study in Europeans and South Asians identifies five new loci for coronary artery disease// *Nat Genet*.- 2011.- Vol.43, N4.-P.339–344.
15. Sayols-Baixeras S. , Lluís-Ganella C., Lucas G., Elosua R. Pathogenesis of coronary artery disease: focus on genetic risk factors and identification of genetic variants// *Appl Clin Genet*.-2014.-Vol. 7.-P.15-32.
16. Caforio A.L., Pankuweit S., Arbustini E. et al. Current state of knowledge on aetiology, diagnosis, management, and therapy of myocarditis: a position statement of the European Society of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases// *Eur Heart J*.- 2013.- Vol.34, N33.-P.2636-2648.
17. Heidecker B., Kittleson M.M., Kasper E.K. et al. Transcriptomic biomarkers for the accurate diagnosis of myocarditis// *Circulation*. - 2011. – Vol. 123, N11. – P. 1174-1184.
18. Brown H.R., Ni H., Benavides G. et al.. Correlation of simultaneous differential gene expression in the blood and heart with known mechanisms of adriamycin-induced cardiomyopathy in the rat// *Toxicol Pathol*, - 2002. – Vol. 30, N4. – P. 452-469.
19. Margulies K.B, Bednarik D.P. and Dries D.L. Genomics, transcriptional profiling, and heart failure// *J Am Coll Cardiol* - 2009. – Vol. 53, N 19. – P. 1752-1759.
20. Boettger T., Braun T. A new level of complexity: the role of microRNAs in cardiovascular development// *Circ Res*.- 2012.-Vol.110, N7.-P.1000–1013.
21. Melman Y.F., Shah R., Das S. MicroRNAs in heart failure: is the picture becoming less miRky?// *Circ Heart Fail*. 2014.- Vol. 7,N1.-P.203-214.
22. Sibbing D., Gebhard D., Koch W. et al. Isolated and interactive impact of common CYP2C19 genetic variants on the antiplatelet effect of chronic clopidogrel therapy// *J Thromb Haemost*.- 2010.- Vol.8, N8.-P.1685-1693.
23. Mega J.L., Close S.L., Wiviott S.D. et al. Cytochrome p-450 polymorphisms and response to clopidogrel// *N Engl J Med*.- 2009.- Vol.360, N4.-P.354-362.
24. Миронов Н.Ю., Нестеренко Л.Ю., Голицын С.П. Значение фармакогенетических факторов в медикаментозном лечении аритмий// *Кардиология*.- 2014.-N 7.-С.73-78.
25. Baker WL, Chamberlin KW. New oral anticoagulants vs. warfarin treatment: no need for pharmacogenomics? // *Clin Pharmacol Ther*.- 2014.- Vol.96, N1.- P.17-19.

26. Schillaci G., Battista F., Settimi L. et al. Antihypertensive drug treatment and circadian blood pressure rhythm: a review of the role of chronotherapy in hypertension// *Curr Pharm Des.* 2014 Oct 24 [Epub ahead of print].
27. Gielen S., Sandri M., Kozarek I. et al. Exercise training attenuates MuRF-1 expression in the skeletal muscle of patients with chronic heart failure independent of age: the randomized Leipzig Exercise Intervention in Chronic Heart Failure and Aging catabolism study// *Circulation.*- 2012.- Vol.125, N22.- P.2716-2727.
28. [Zizola C.](#), [Schulze P.C.](#). Metabolic and structural impairment of skeletal muscle in heart failure. [Heart Fail Rev.](#)- 2013.- Vol.18, N5.-P.623-630.

7.3 Эпигенетические и эпигеномные механизмы возникновения и наследования эколого-зависимых нарушений здоровья человека

В настоящее время одной из важнейших проблем для развитых стран и в том числе для России является относительно невысокая продолжительность жизни людей и постоянный рост заболеваемости болезнями с наследственной предрасположенностью (рак, сердечно-сосудистые патологии; когнитивные, нейродегенеративные, неврологические заболевания и состояния). Общеизвестно, что здоровье человека напрямую зависит от повреждающего действия различных факторов окружающей среды. Установлено, что внешние факторы оказывают действие через эпигеномные и эпигенетические механизмы, приводя к нарушениям в экспрессии генов и, как следствие, к заболеванию. Это связано с тем, что именно эти механизмы являются наиболее чувствительными к воздействию экотоксикантами, причем наиболее чувствительным периодом является раннее эмбриональное развитие. Нарушения в эпигеноме в этом периоде онтогенеза, как сейчас стало ясно, могут вести к увеличенному риску появления патологий, в особенности, связанных с нарушениями функционирования мозга. Но остаются далеко не ясными конкретные механизмы такой связи. За рубежом, в силу крайней важности данного направления исследований по данной теме ведутся достаточно интенсивные исследования. Такие работы проводятся в нескольких центрах. Это Duke University, Durham, North Carolina (Randy Jirtle), University of Michigan School of Public Health (Dana Dolinoy), McGill University, Canada (Moshe Szyf), School of Biological Sciences at Washington State University (Michael Skinner), Institute of Neuroscience, Chinese Academy of Sciences (Qiu, Zi-Long), University of Parma (Stefano Parmigiani). В частности, большое внимание уделяется эпигенетическим эффектам, вызванным бисфенолом А. Но пока идет только процесс накопления данных и до полного понимания еще далеко. В России такого рода исследования сосредоточены в Институте экспериментальной медицины РАН, Санкт-Петербург. Часть работы выполняется совместно с НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА. В то же время даже накопленные за рубежом данные не всегда могут быть использованы для России. Это связано с ее географическим и этническим разнообразием, обуславливающим в значительной степени эпигенетические нарушения, которые могут вызывать заболевания и быть переданы между поколениями, а также привести к рождению нежизнеспособного потомства. В сравнении с зарубежными исследованиями, суммированными и проанализированными в данном обзоре, мы считаем важным комплексное исследование, не ограничивающееся экспериментами на животных. Необходимо во-первых проводить сравнительный анализ различных экотоксикантов на

животных-моделях и на клетках человека различного происхождения, что необходимо в силу естественной ограниченности моделей-животных. Так передача эпигенетической и эпигеномной информации происходит в контексте хромосом, как в онтогенезе, так и между поколениями, то мы считаем необходимым исследование влияния токсикантов на хромосомном уровне. Кроме того важен анализ тандемных повторов ДНК, как важной потенциальной мишени для воздействия токсикантами и их высокой нестабильности при экспозиции различными агентами. При этом такие повторы ДНК обычно содержат сайты для метилирования, то есть, их эпигенетический статус также особенно подвержен изменениям при различных воздействиях таких повторов. Эпигенетический анализ повторов в клеточных линиях человеческого происхождения при воздействиях также является очень перспективным для понимания этиологии заболеваний.

В данном обзоре критически анализируются современные данные о связи между экотоксикологией и эпигенетикой. Рассмотрены основные эпигенетические изменения в ходе эмбриогенеза и гаметогенеза и рассматриваются данные о влиянии экотоксикантов, в первую очередь бисфенола А (БФА), на развитие и дифференцировку, то как этот агент может влиять на когнитивные функции и поведение. Рассмотрены данные относительно межпоколенческой передачи эпигенетических и эпигеномных нарушений, индуцированных различными токсикантами в сперматогенезе и раннем эмбриогенезе. Обсуждаются возможные направления дальнейших исследований, роли и возможных механизмов влияния экотоксикантов на эпигенетические и эпигеномные модификации, в том числе метилирования ДНК и ковалентных модификаций ДНК гистонов, в передаче восприимчивости к заболеваниям между поколениями.

К настоящему времени становится все более ясным, что различные экотоксиканты, в основном, связанные с производственной деятельностью человека, сельским хозяйством, и использованием все более широкого ряда фармацевтических препаратов, могут влиять на эпигенетические (на уровне отдельных генов и их участков) и эпигеномные (на уровне целого генома) модификации соответственно генов, их частей и целых геномов. Такие модификации генома, генов и особенно тандемных ДНК повторов являются наиболее чувствительными мишенями как для прямого, так и для опосредованного в ходе метаболизма воздействия экотоксикантами.

Отклонения от нормы в таких модификациях, в свою очередь, ведут к развитию указанных распространенных патологий человека. Кроме того, современные исследования указывают на важнейшую, и, возможно, критическую роль внешних воздействий на эпигеном в период эмбриогенеза в развитии "взрослых" заболеваний. Однако, остаются далеко не исследованными конкретные механизмы эпигенетического маркирования в

клетках различных типов в разных тканях и органах в ходе онтогенеза под влиянием экотоксикантов различной природы в дозах, не ведущих к классическим генетическим мутациям. Нет ответа на принципиальный вопрос относительно возможности передачи между поколениями эпимутаций (не связанных с первичной последовательностью ДНК), индуцированных экотоксикантами, которые могут затем вести к увеличенной восприимчивости к различным патологиям у потомства, в том числе, и у уже не контактирующего с токсикантами. Таким образом, эпигенетические и эпигеномные модификации генома выступают в качестве интерфейса между средой и организмом. Именно эти модификации являются высоко лабильными и подверженными влияниям таких факторов как продукты питания, химические, физические и инфекционные воздействия. Как мы начинаем понимать, наиболее чувствительным периодом к воздействия является эмбриогенез и гаметогенез, что наиболее вероятно обусловлено активными процессами перепрограммирования, связанными с эпигенетическим и эпигеномными модификациями, в первую очередь метилированием ДНК как всего генома, так и отдельных генов. Более того, выдвинута гипотеза, что такие изменения паттерна метилирования ДНК в эмбриогенезе в значительной мере могут обуславливать развитие патологий уже во взрослом состоянии, особенно при старении. Еще одним важным следствием лабильности эпигенетических изменений могут являться популяционные и этнические различия, связанные с влиянием окружающей среды, которые только начали изучать.

В настоящее время существует значительный разрыв между Россией и развитыми странами в отношении исследований влияния факторов экологии на механизмы возникновения, тяжести протекания и наследования болезней. В то же время даже накопленные за рубежом данные не всегда могут быть использованы в России. Это связано с ее географическим и этническим разнообразием, обуславливающим в значительной степени эпигенетические нарушения, которые могут вызывать заболевания и быть переданы между поколениями, а также привести к рождению нежизнеспособного потомства. Последнее особенно важно для России в силу невысокой рождаемости. Все это имеет непосредственное отношение к национальной биобезопасности.

7.3.1 Эпигенетика в экотоксикологических исследованиях

Эпигенетика, как представляется в настоящее время, может играть существенную роль во взаимодействиях между химическими веществами и экспонированными такими агентами различными видами животных и растений. Что касается химических веществ, исследования на крысах и мышях, подвергшихся воздействию конкретных пестицидов,

углеводородов, диоксинов и веществ, разрушающих эндокринные процессы (ВРЭП), продемонстрировали значительные эпигенетические изменения, что говорит о необходимости дальнейших исследований в экотоксикологическом контексте. В настоящее время в экотоксикологической эпигенетике активно рассматривается концепция межгенерационного наследования эпигенетических модификаций, индуцированных экотоксикантами.

В настоящее время рассматриваются несколько основных потенциальных эпигенетических эффектов в контексте таких исследований: (1) какие периоды онтогенеза являются наиболее чувствительными к воздействиям как химических, так и физических факторов (2) какие мишени на тканевом, органном, клеточном и молекулярном уровне наиболее подвержены воздействиям (3) могут ли эпигенетические нарушения, индуцированные в эмбриогенезе приводить к повышенной восприимчивости к патологиям в более позднем периоде, уже в отсутствии экотоксикантов (4) могут ли эпигенетические модификации, индуцированные различными агентами, передаваться между поколениями, и каковы половые различия в этом процессе. В последние несколько лет эпигенетика оказалась в фокусе экотоксикологических исследований в качестве вероятного механизма объяснения различных эффектов воздействия экологического стресса на организмы [1].

7.3.2 Экотоксикология и эпигенетика

Экотоксикология была определена как «наука о загрязняющих веществ в биосфере и их влияние на составляющие биосферы, включая человека [2]. То есть, экотоксикология изучает отношения между химическими веществами и подверженными их воздействию видами и экосистемами, интегрируя различные аспекты химии, биологии и токсикологии. Эпигенетика изучает митотически или мейотически наследуемые и обратимые изменения которые влияют на экспрессию генов и стабильность генома, но происходят без изменения в последовательности ДНК [3].

Эпигенетические факторы могут вмешиваться во взаимодействие между химическими веществами и организмами, а также и во взаимодействие между видами и экосистемами [1]. Именно на эпигенетическом уровне может проявляться биологический аспект экотоксикологии, когда происходит взаимодействие химических и физических факторов с эпигенетическим статусом генома. Химические вещества, потенциально способные влиять на эпигеномы, включают в себя наноматериалы, бензин, агенты вызывающие эндокринные нарушения, такие как диэтилстильбэстрол, диоксины и пестициды, металлы [1,4]. Очевидно, что пища является важной составной частью

экосистемы, и ее состав также должен учитываться при рассмотрении эпигенетических эффектов влияния окружающей среды.

При рассмотрении взаимодействия среды и организма внутри одного вида, крайне актуальным является эпигенетическая наследуемость как от клетки к клетке при митотических делениях, так и трансгенерационная передача информации через зародышевую линию, даже когда внешний триггер, первоначально вызвавший эпигенетические изменения, уже отсутствует. Примерами последнего являются наследование таких изменений у крыс, подвергавшихся воздействию диоксинами, компонентами пластиков, пестицидами, гидрокарбонowymi соединениями реактивного топлива [5,6]. Так в статье Anway et al. [7] было описано трансгенерационное наследование в ходе сперматогенеза метилирования ДНК в сперме вплоть до поколения F4 при исходном воздействии винклозолином (см. ниже). Такой трансгенерационный аспект химически индуцированных эпигенетических и фенотипических изменений может иметь серьезные последствия для экотоксикологии. Если химическое воздействие на одно поколение может иметь последствия для нескольких последующих поколений, то оценка риска этих веществ должна включить этот интервал времени между воздействием и эффектами. То есть, это может означать популяционный и эко-географический аспект эпигенетической экотоксикологии [3]. Надо отметить, что в ряде работ трансгенерационное эпигенетическое наследование было подвергнуто сомнению [8]. Но позднее в ряде работ группы исследователей под руководством M. Skinner было вновь показано наличие трансгенерационного эпигенетического наследования, а именно метилирования ДНК, при внутриматочном воздействии диоксином (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin or TCDD), бисфенолом А, дибутилфталатом, ди-2-этилгексилфталатом, топливом реактивных двигателей (JP-8 hydrocarbon mixture), а также смеси инсектицидов и репеллентов насекомых. Авторы признают, что использованные концентрации были достаточно высоки, но их основная цель состояла в оценке возможных рисков [6]. В подобном исследовании при внутрибрюшинном введении метоксихлора беременным мышам в то время, когда первичные половые клетки (ППК) мигрируют в гонады эмбриона, было показано влияние на метилирование ДНК для пяти импринтированных генов. При этом наблюдалось снижение концентрации сперматозоидов только в F1 потомках, но эпигенетические эффекты все еще присутствуют, но были менее выражены в F2 и отсутствовали у F3 потомства. То есть, биодоступность в экологически репрезентативных концентрациях является ключевым аспектом экотоксикологического исследований, который должен быть тщательно рассмотрен, прежде чем транслировать эти данные на другие виды млекопитающих.

Бисфенол А (БФА), соединение, имеющее структурное сходство с метоксихлором, было причиной бесплодия у самцов крыс, которым неонатально подкожно вводили 2,4 г ВРА в день в течение пяти дней [9]. Это проявлялось в недостаточности репродуктивной функции за счет резорбции эмбрионов. Оказалось, что у таких зародышей уровни экспрессии трех типов ДНК-метилтрансфераз участвующих в CpG метилирование были значительно снижены по сравнению с жизнеспособными эмбрионами. Авторы предположили, что БФА может изменять эпигеном, негативно влияя на развитие эмбриона и приводя к резорбции. Очевидно, необходимы дальнейшие исследования по функциональному эпигенетическому анализу для более надежных выводов о наличии связи между активностью метилтрансфераз и, вообще роли метилирования ДНК и развитием зародышей.

До сих пор, при оценке экологических рисков не принимаются во внимание эволюционные аспекты, или возможность воздействия химических агентов на будущие поколения, не подвергавшиеся таковым. Нужны фундаментальные исследования для решения вопросов о (1) возникновении индуцированных эпигенетических модификаций при экологически реальных концентрациях экотоксикантов, (2) фенотипических и популяционных последствиях этих изменений и (3) передаче этих изменений последующим, не подвергавшимся воздействию поколениям, (3) молекулярных механизмах воздействия на эпигеном в целом и отдельные гены, включая не только CpG островки но и "тела" генов. Необходимо расширение эпигенотоксикологических исследований на другие экологически важные агенты, кроме наиболее изученных к настоящему времени.

7.3.3 Эпигенетические и эпигеномные механизмы регуляции активности генов. Воздействие экотоксикантами

Хорошо известно, что ДНК содержит код для аминокислотных последовательностей белков. Кроме того, регуляция экспрессии генов осуществляется в контексте хроматина, конформация которого определяется взаимодействиями ДНК- белки и ДНК-РНК. В таком взаимодействии важны ковалентные модификации нуклеотидов и аминокислотными модификациями белков, в основном гистонов. Ковалентные модификации нуклеотидов, такие как метилирование или гидроксиметилирование цитозина регулируют экспрессию генов. При этом метилирование и гидроксиметилирование цитозина оказывают различное влияние на экспрессию генов: метилирование CpG островков связано с уменьшением экспрессии генов, в то время как гидроксиметилирование внутригеновых регионов связано с более высокой экспрессией

генов [10]. Роль гидроксиметилцитозина представляет особый интерес в психических расстройствах ввиду обогащенности такой модификацией генов головного мозга и синапсов [11]. Наиболее изученной модификацией ДНК является метилирование цитозина. Если процесс метилирования ДНК был достаточно хорошо изучен, то механизмы деметилирования ДНК все еще до конца не выяснены [12]. Процесс деметилирования ДНК может быть пассивным и связанным с репликацией клеток, в ходе которой происходит постепенное снижение уровня метилирования за счет снижения активности ДНК-метилтрансферазы 1, что хорошо показано для дробящихся яйцеклеток млекопитающих [13]. Наряду с этим существует процесс активного деметилирования, не связанного с репликацией. В настоящее время показано, что этот процесс осуществляется при участии белков семейства TET, катализирующих гидроксиметилирование цитозина [14], после чего происходит репарация ДНК и включение в состав молекул ДНК вместо 5метилцитозина неметилированного цитозина. Такой процесс конверсии 5mC в 5hmC был обнаружен при самообновлении ЭСК и спецификации клеток внутренней клеточной массы. Было также показано обогащение гидроксиметилцитозином в клетках мозга [15], что указывает на его роль в деметилировании ДНК и функционировании мозга и нейропсихиатрических патологиях [16]. Также предполагается роль комплексов между метилированной ДНК и метил-специфическими белками Mbd3. Ковалентные модификации нуклеотидов, такие как метилирование или гидроксиметилирование цитозинов, регулируют экспрессию генов. Ранние факторы экологического риска играют важную роль в психических расстройствах во взрослом возрасте, и механизм такого влияния может быть частично опосредован эпигенетическими модификациями ДНК. Методы комплексного анализа метилирования и гидроксиметилирования ДНК включают различные способы модификации ДНК, такие как бисульфитная обработка ДНК последовательности, гидроксиметилированной или неметилированной ДНК с помощью специфически связывающих белков, антител, или ферментами рестрикции, с последующим секвенированием или анализом микрочипов. Результаты этих экспериментов следует интерпретировать с осторожностью, поскольку каждый метод дает различные результаты. Метилирование и гидроксиметилирование цитозина оказывает различное влияние на экспрессию генов. Роль гидроксиметилцитозина представляет особый интерес в контексте психических расстройств, так как эта модификация характерна для генов головного мозга и синапсов, что указывает на динамическую регуляцию во время развития. Многие паттерны метилирования ДНК сходны у различных видов, но есть и специфические черты, например у человека. Комплексный анализ метилирования ДНК показывает характерные изменения, связанные с типом

тканей, отделов головного мозга, клеточных типов, и стадий развития показывает, что все эти факторы должны учитываться при обосновании роли метилирования ДНК в ментальных нарушениях, вызванных различными агентами [17]. Для понимания роли метилирования ДНК в психических расстройствах необходимы дальнейшие исследования, включая эксперименты на животных.

Если процесс метилирования ДНК изучен достаточно подробно, то механизмы деметилирования ДНК поняты еще далеко не достаточно [12]. Однако, как указывалось выше процесс активного, не связанного с репликацией клеток, деметилирования особенно важен именно при рассмотрении экспрессии генов в головном мозге (см. ниже).

Метилирование ДНК может быть особенно чувствительным к воздействию факторов окружающей среды, и при этом метилирование остается относительно стабильным в дальнейшем. Кроме собственно метилирования ДНК в ходе развития необходимо рассматривать и структуру хроматина, так как в клетках ДНК находится в его составе и внешние факторы могут воздействовать на белковые составляющие хроматина. На роль гистоновых маркеров, как носителей клеточной памяти указывают последние исследования [18, а различные неканонические варианты гистонов могут участвовать в ответе на факторы окружающей среды [19].

7.3.4 Эпигенетические процессы в развитии

Эпигенетические механизмы представляют собой одну из самых правдоподобных мишеней, действуя на которые различные токсины окружающей среды, включая БФА, могут приводить к долгосрочным эффектам. Развитие млекопитающих начинается с одной тотипотентной клетки (зиготы), которая в дальнейшем делится и дифференцируется во многие различные типы клеток, приводя в конечном счете к возникновению организма. Дифференцировка клеток происходит без изменения последовательности ДНК, и основана на создании различных программ экспрессии в различных типах клеток. Одним из основных процессов, что обеспечивает клетка-специфичную экспрессию конкретных генов, без изменения последовательности ДНК, является эпигенетическая регуляция.

Эпигенетическое регулирование возможно потому, что ДНК в каждой клетке упакована в специализированную динамическую структуру называемую хроматином, который состоит из ДНК, закрученной вокруг гистоновых белков. При плотной упаковке хроматина в определенных областях генома экспрессия генов подавляется из-за невозможности связывания транскрипционных факторов в матрицей ДНК. В отличие от этого, при более открытой конфигурации хроматина, в которой ДНК и гистонов

взаимодействуют более свободной, что открывает доступ транскрипционным факторам и аппарату транскрипции в целом, ведя к инициации транскрипции [20]. Структура хроматина во многом определяется метилированием ДНК и различными ковалентными модификациями белков гистонов, и они являются основными эпигенетическими механизмами, которые контролируют генную экспрессию.

У млекопитающих, метилирование ДНК происходит, в основном, в положении 5' цитозинового остатка и преимущественно в контексте CpG динуклеотидов, многие из которых сгруппированы в GC-богатых районах, называемые геномными CpG островками. Метилирование участков CpG подавляет экспрессию генов либо путем прямого вмешательства в связывание транскрипционных факторов, или с помощью индукции репрессивной структуры хроматина в непосредственной близости от регуляторных областей генов. Гистоновые белки также являются субъектами многих пост-трансляционных модификаций, которые включают в себя: ацетилирование, метилирование, фосфорилирование, убиквитинирование, сумоилирование и ADP-рибозилирование. Конкретные комбинации из этих модификаций могут существенно повлиять на состояние хроматина и маркировать гены для повышенной активности или транскрипционного молчания. Известно также, что метилирование ДНК и маркирование гистонов часто функционируют сообща при регулировании экспрессии генов. Например, метилирование гистонов (H3K9) может сочетаться с метилированием ДНК для усиления репрессивного воздействия на активность гена, и эти изменения будут, как правило, сопровождаться деацетилированием гистонов в одной и той же геномной области [21]. Говоря об эпигеноме обычно имеют в виду метилирование ДНК и модификации гистонов всего генома, и, в отличие от последовательности ДНК генома, этот паттерн варьирует между различными типами клеток. Кроме того, в отличие от очень стабильного генетического кода, эпигеном может изменяться в ответ на сигналы окружающей среды на протяжении всей жизни индивида. Кроме того, эпигенетические маркеры более восприимчивы к воздействиям окружающей среды, встречающимся в процессе раннего внутриутробного развития, когда происходит экстенсивное программирование и перепрограммирование метилирования ДНК и модификаций гистонов для установления необходимой в норме клетка- и ткане-специфичной экспрессии генов.

Эпигенетическое репрограммирование заключается в широкогеномном стирании и ремоделировании метилирования ДНК и модификаций гистонов. Эти процессы происходят на двух различных этапах развития млекопитающих: (1) в ранних эмбрионах (от зиготы до стадии бластоцисты доимплантационного развития) и (2) в гаметогенезе (начиная с середины беременности) [22]. После оплодотворения

эпигенетическое перепрограммирование, скорее всего, необходимо для восстановления тотипотентности зиготы, правильного инициирования экспрессии эмбрионального генома и появления первых двух зародышевых линий клеток. Этот период сопровождается почти полным стиранием маркеров метилирования в зиготе, с последующим метилированием генома *de novo*, который совпадает с дифференциацией первых двух клеточных линий в бластоцисте. Эти две линии являются первыми эмбриональными линиями с различным эпигенетическим маркированием: внутренняя клеточная масса гиперметилована по сравнению с вне эмбриональной линией - трофэктодермой, и это связано с различными паттернами модификаций гистонов. Еще одна волна эпигенетического перепрограммирования, которая также включает в себя цикл почти полного деметилирования с последующим реметилированием генома во время гаметогенеза, и имеет важное значение для сброса маркирования импринтированных генов в зародышевых клетках. Импринтированные гены экспрессируются моноаллельно в зависимости от пола родителя, от которого они получены. Такие родительские импринты поддерживаются в соматических клетках развивающегося эмбриона, но они должны быть стерты в гаметогенезе и затем установлены в клетках зародыша в зависимости от пола эмбриона.

Таким образом, вмешательство в эпигенетическое перепрограммирование генома после оплодотворения может изменять генетическое программирование и экспрессию генов (генома в целом) в развитии эмбриона, в то время как вмешательство в эпигенетическое перепрограммирование, происходящее в половых клетках может влиять на импринтинг и эпигеном будущих поколений.

Учитывая описанный выше крайне динамичный характер эпигенома в начале эмбриогенеза и в гаметогенезе, не удивительно, что эти периоды особенно чувствительны к агентам окружающей среды, влияющим на эпигенетические механизмы. В настоящее время не ясно, как эпигенетическое регулирование участвует в контроле экспрессии генов на более поздних стадиях развития, хотя вероятно, что эпигенетические изменения остаются неизменными в более позднем онтогенезе [23]. Тем не менее, появились доказательства, указывающие что и модификации гистонов и метилирование ДНК активно участвуют в управлении экспрессией гена в более позднем коммитировании клеточных линий в организме, как показано при эпигенетическом " программировании " стволовых клеток в нейронные предшественники, а затем в определенные нейроны или глиальные клетки [24-25]. Таким образом, вполне вероятно, что в течение всего периода развития организмы являются уязвимыми к эпигенетическим нарушениям, и что любой агент потенциально способный влиять на эпигеном, может вызывать неблагоприятные

последствия для развития, и, следовательно, увеличивать риск болезни во взрослом возрасте. Этим обусловлено появление гипотезы фетального происхождения взрослых заболеваний. Гипотеза фетального происхождения болезней указывает на роль токсического воздействия различных типов в ходе развития на начало заболеваний в более позднем периоде жизни. Гипотеза, впервые предложенная Дэвидом Баркером, первоначально предполагала, что ранние пищевые риски влияют на заболевания сердца. В настоящее время эта теория находит свое подтверждение в многочисленных наблюдениях по возникновению рака, нарушениям развития, неврологическим заболеваниям и метаболическим синдромам.

Биологические механизмы, связывающие воздействия на плод и прогрессирование заболеваний становятся все более ясными. Стало ясным, что эпигенетическое программирование важную роль в реакции организма на экологические стрессы во время критических периодов развития играет эпигенетическое программирование. Во время развития, эпигеном проходит серию точно распределенных во времени изменений метилирования ДНК, необходимых для обеспечения нормального развития. Поддержание правильного распределения во времени и исключительная точность метилирования в гаметах и зародышах после оплодотворения делают эту высоко согласованную в норме систему особенно уязвимой к помехам от воздействия окружающей среды. После оплодотворения отцовский геном активно деметируется, в то время как материнский геном деметируется пассивно. На стадии морулы начинается метилирование генома *de novo*, продолжающееся после имплантации, когда заканчивается установление паттерна метилирования в ходе начального органогенеза. В частности, в ходе этого процесса закладываются эпигенетические маркеры импринтированных генов, то есть, генов с моноаллельной экспрессией, зависящей от пола родителя, от которого получен ген. Эта уникальная регуляция экспрессии генов осуществляется при участии метилирования ДНК, модификации гистонов и некодирующих РНК. Аберрантное метилирование или потеря метилирования под воздействием экотоксикантов может либо выключить эти критические гены или привести к чрезмерной экспрессии генного продукта. Из-за такой моноаллельной экспрессии импринтированные гены особенно восприимчивы к дерегулированию. Кроме метилирования ДНК, в процессе импринтирования генов существенную роль играют и такие модификации гистонов, как метилирование и ацетилирование. Таким образом, экологические факторы, влияющие на импринтинг, будут приводить к серьезным нарушениям развития и повышенной восприимчивости к заболеваниям. Импринтинг особенно уязвим для дерегулирования в момент первичного стирания отпечатка и его создания в гаметогенезе. Эти отпечатки должны также быть

защищены от стирания вскоре после оплодотворения, когда ДНК подвергается глобальному деметилированию [26].

7.3.5 Межпоколенческая передача эпигенетического маркирования

Сегодня в мире растет озабоченность, что неблагоприятные последствия воздействия различных факторов могут поддерживаться у нескольких последующих поколений.

Одним из наглядных примеров такого явления представляет действие диэтилstilбестрола (ДЭС), синтезированного эстрогена, рекомендованного с конца 1940-х годов по начало 1970-х годов для профилактики выкидышей у беременных женщин. Как теперь стало ясно, у людей пренатальное лечение ДЭС связано с повышенным риском репродуктивных аномалий и опухолей репродуктивного тракта не только у лиц, подвергшихся внутриутробному воздействию ДЭС, но и в последующих поколениях. У мышей, воздействие в перинатальном периоде ДЭС привело к аномалиям половых путей и раковым заболеваниям в первом (F1) и втором (F2) поколениях. Было высказано предположение, что эти аномалии могут быть связаны с аномальным метилированием ДНК в развитии и, в том числе, в связанных с раком генах, и возникшие эпигенетические изменения могут лежать в основе трансгенерационных негативных последствий ДЭС. Но при этом важно иметь в виду, что когда матери подвергаются воздействию токсикантом во время беременности, происходит прямое воздействие токсикантом на мать (F0 поколение), развивающийся эмбрион (F1 поколение) и ППК поколения F2 [26]. Таким образом, различные токсиканты, способные нарушать эндокринную функцию, как в примере с ДЭС и БФА (см. ниже), а также и другие агенты, влияющие на эпигеном, могут непосредственно влиять на эпигеном F2-поколения, который может быть особенно чувствительны к эпигенетическим нарушениям регуляции в период динамического перепрограммирования импринтированных генов, проходящему во время гаметогенеза. Однако, повреждающие эффекты могут не ограничиваться F2 поколением, вызывая изменения у потомства, которое не имело прямого контакта с химическим веществом. До недавнего времени считалось, что в результате эпигенетического перепрограммирования эпигенетические изменения, произошедшие у предыдущего поколения будут удалены в ППК и в ранних эмбрионах, так что новый организм будет развиваться исключительно на основе наследственной генетической информации, закодированной в первичной последовательности ДНК. Однако, в настоящее время стало ясно, что метилирование ДНК в определенных локусах может избегать стирания во время развития, обеспечивая тем самым основу для формулирования гипотезы, что трансгенерационное наследование

может происходить и на основе эпигенетических механизмов как у грызунов, так и у человека [27]. При изучении последствий воздействия во время беременности анти-андрогенным фунгицидом винклозолином наблюдали снижение сперматогенеза у самцов и субфертильность у потомства F1 и в трех последующих поколениях (F2–F4). Эти нарушения, как показали эти авторы, были связаны с аномальным метилированием ДНК у двух генов в сперме F1-F3 поколений [7], а также широкогеномным изменением метилирования в промоторных районах генома спермиев F3 поколения [28], что дало основания предположить передачу фенотипа между поколениями с участием эпигенетических механизмов по мужской линии. Кроме того, у взрослых животных во всех обследованных поколениях (F1-F4) развились патологии простаты и почек, опухоли и пороки иммунных клеток [7]. Эти исследования убедительно свидетельствуют, что воздействие агентами, влияющими на эндокринную систему может иметь кумулятивные побочные эффекты для будущих поколений, и что эти эффекты могут быть опосредованы эпигенетическими механизмами.

Таким образом, при исследованиях неблагоприятных последствий агентов, повреждающих эндокринную регуляцию и, скорее всего, и других токсикантов модулирующих эпигенетическое маркирование, целесообразно включить трансгенерационные исследования, что позволит оценивать потенциальное влияние на ряд поколений. Что касается человека, то было высказано предположение, что низкие концентрации (в сравнении с использованными в цитированных выше работах на животных) агентов, интерферирующих с функционированием эндокринной системы, может приводить к менее явным фенотипам у людей, таким, как диабет 2 типа, адипогенез и поведенческие эффекты [29]. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования для понимания влияния на эпигеном малых доз агентов. В случае подтверждения влияния низких доз агентов, нарушающих эндокринную регуляцию на человеческий эпигеном, это будет означать влияние на здоровье как нынешней, так и будущих популяций не только в отношении восприимчивости к заболеваниям, но и в отношении растущего бесплодия. Таким образом, необходимо как включение эпигенетических маркеров в токсикологические оценки, так и дальнейшее развитие исследований по определению наилучших способов выявления доз эпигенотоксических агентов, чей повреждающий эффект обусловлен не мутациями генома, но путем изменения эпигенома.

Далее мы рассмотрим на примере БФА, как наиболее изученного экотоксиканта, основные полученные на сегодняшний день данные относительно влияния на воздействия таким и подобными агентами на различные аспекты жизнедеятельности.

7.3.6 Действие бисфенола А на развитие и его отдаленные последствия

БФА является ксеноэстрогеном который был впервые синтезирован в 1891 году, а его эстрогенные свойства были обнаружены в 1930 году, и вскоре после этого была показана возможность его использования при производстве эпоксидных смол. С 1950 г БФА начали использовать в качестве синтетического мономера в производстве поликарбонатных пластиков, полистирольных смол и стоматологических герметиков. БФА является основным эстрогенным соединением, которое попадает в воду и продовольствие. БФА был обнаружен в 95% образцов мочи человека, что свидетельствует о том, что экологическая экспозиция данным агентом широко распространена. В ходе клинических и доклинических исследований было показано, что воздействие БФА связано с различными заболеваниями. Они включают сердечно-сосудистые заболевания [30], диабет [31], ожирение [32], репродуктивные патологии [33], рак молочной железы [34], рак простаты [35], гепатотоксичность [36], нарушение ремоделинга синапсов [37], и депрессивное поведение у мышей и крыс. Механизм, посредством которого БФА может провоцировать эти заболевания не известен, но есть определённые свидетельства, что такая связь обусловлена в значительной степени эпигенетическими процессами (см. например, обзоры [4, 38]). Молекулярные механизмы, лежащие в основе долгосрочных последствий действия БФА по-прежнему не выяснены, и, вероятно, связаны с нарушением эпигенетического программирования экспрессии генов во время развития. БФА, как и многие другие экологически значимые токсины, способен проникать через плаценту и вести к порокам развития у потомства [39] и к указанным выше серьезным патологиям [26]. Хотя гормональные сигналы индуцируют динамические и обратимые изменения клеточной функции, во время развития стероидные гормоны могут вызывать постоянные последствия для генной активности, которые в свою очередь, участвуют в клеточной и тканевой дифференциации, и готовят гены к ответу на вторичные гормональные сигналы в дальнейшей жизни. Этот так называемый гормональный импринтинг или генное программирование, вероятно, вовлекает эпигенетические механизмы, такие как метилирование ДНК, которое может быть передано от одного поколения клетки другому и сохраняются в зрелом возрасте.

Исходя из вышесказанного, было предположено, что соединения, нарушающие эндокринные пути (*endocrine disrupting compounds*), могут мешать эпигенетическому программированию, приводя к повреждающему действию на развитие.

7.3.7 Эпигенетические механизмы индуцируемых БФА эффектов

Первые убедительные исследования по возможности БФА вызывать эпигенетические изменения были проведены Dolinoy и др. [40] с использованием мышинной модели *Agouti viable yellow (Avy)*. У таких мышей экспрессия гена *Agouti* варьирует в зависимости от степени метилирования ретротранспозона IAP, находящегося выше этого гена. В соответствии со степенью метилирования этой вставки меняется и цвет шерсти таких мышей. Оказалось, что материнская диета с различным содержанием источников метильных групп влияет на окраску шерсти, то есть на метилирование данного транспозона [41]. При воздействии БФА был обнаружен подобный эффект, что ясно указывает на гипометилирование IAP при воздействии БФА в данной модели и на данной мишени [40]. Хотя был проведен только ограниченный ряд исследований эпигенетических последствий воздействия БФА на развивающийся организм, тем не менее уже полученные данные свидетельствуют о том, что это химическое вещество может вызвать изменения в статусе метилирования ДНК экспрессирующихся генов. Такие первые исследования важны, так как указывают на эпигенетическую природу воздействия БФА, но необходимы дальнейшие исследования, чтобы подтвердить эти первоначальные выводы, а также расширить число изученных генов-мишеней изучены. В частности надо изучать последствия воздействия БФА на нейрогенез, нейроэндокринную и иммунную системы. Необходим анализ эпигенетических модификаций и соответствующих изменений в генной экспрессии для генов, контролируемых лимбические, когнитивные, нейроэндокринные и иммунные функции. При этом крайне важными остаются исследования по механизмам, посредством которых БФА может повлиять на эпигеном, не ограничиваясь его действием на стероидные гормональные рецепторы. Высокая вероятность последнего механизма основана на имеющихся данных, что белки эстрогенного пути могут изменять модификации гистонов и реструктурировать хроматин, меняя экспрессию генов, связанных с ответом на гормон [42]. Существуют некоторые свидетельства, что эстроген способен динамически изменять статус метилирования его генов-мишеней. Таким образом, легко можно представить, что эпигенетические эффекты БФА могут быть объяснены, по крайней мере частично, его воздействием на стероидные рецепторы, особенно эстрогенные. В пользу такого предположения говорят данные, что и другие агенты, повреждающие эндокринную систему либо с эстрогенной или андрогенной активностью, могут изменять эпигеном [43].

Представляется, что надо учитывать и альтернативного пути, когда нестероидный путь воздействия БФА может влиять на экспрессию генов, как это было показано для

клеток Нек 293 [44]. БФА может также повышать эстрогенную активность через регуляцию эндокриновых рецепторов (ER) в тканях-мишенях. Так, промоторный район гена, который кодирует ER α , регулируется механизмом, опосредованным метилированием ДНК как в нейронах, так и при развитии рака [45]. Ранее было показано, что БФА может увеличивать экспрессию ER α в мозге и селзенке [46]. Учитывая, что экспрессия гена ER α изменяется в результате колебаний в метилировании ДНК в период внутриутробного и раннего постнатального периода развития, было бы интересно проследить, действует ли подобный механизм при воздействии БФА в ранней жизни. Такие исследования открывают путь для возможности усиления такого эффекта путем использования метил-богатой диеты, как это описано выше для мышей с мутацией в гене Agouti, или изменяя постнатальное взаимодействие мать-ребенок, которое также может индуцировать изменение статуса метилирования гена ER α [45]. В настоящее время, таким образом взгляд, что БФА действует в качестве эндокринно активного соединения и в качестве агента, который изменяет метилирование ДНК, стал общепринятым [47]. Важно отметить, что оба этих механизма не могут быть не взаимоисключающими, но при этом эпигенетические механизмы действия БФА очень плохо изучены. Важно вспомнить, что в последнее время было проведено исследование метилирования всего генома как в раннем эмбриональном развитии, так и в полностью дифференцированных клеточных линиях [48]. Это исследование выявило потенциальную роль не-CpG метилирования в транскрипции, различаясь в эмбриональных стволовых клетках и полностью дифференцированных клетках. Как справедливо отмечает ряд авторов [47, 49]. большой интерес представляет то, что этот тип метилирования ДНК не в CpG сайтах (1) часто встречается в телах генов, (2) происходит на кодирующей нити, (3) коррелирует с повышенной экспрессией гена. В совокупности эти данные предполагают, что не-CpG-метилирование в недифференцированных клетках может использоваться в качестве способа повышения экспрессии гена в процессе развития, хотя это предположение требует дальнейших исследований. Нельзя исключить, что метилирование в телах генов, в частности, в интронах, связано с формированием в плюрипотентных клетках структуры открытого хроматина [50], необходимой для связывания транскрипционных факторов в ходе дальнейшей дифференцировки. Это находится в явном контрасте с CpG метилированием, которое, в основном, связано со снижением активности гена. Нужны новые исследования, чтобы лучше понять роль не-CpG метилирования в развивающихся клетках, а также способность БФА изменить эти метилированные регионы. Тем не менее, это дает основания для предположения, что эффекты БФА связаны именно с этим контекстом в зародышах и плодах, обуславливая разнообразные паттерны эпигенома. Во

время эмбриогенеза, половые различия в мозге связаны с гормональной секрецией и половыми хромосомами. Дисрегуляция не-CpG метилирования во время этих критических периодов развития под влиянием различных экотоксикантов, включая БФА, может нарушать нормальное развитие мозга и эндокринной системы, которые будут вызывать тяжелые изменения как в развивающемся эмбрионе, так и в зрелом возрасте. То есть, эти данные служат подтверждением фетальной теории развития заболеваний.

Широкогеномный анализ метилирования ДНК промоторов был проведен в ЭСК и их дифференцировке при воздействии фитоэстрогенами. Авторы показали, что фитоэстроген генистеин нарушал метилирование ДНК для ряда генов дифференцированных эмбриональных стволовых клеток при метилировании *de novo* у постимплантационных эмбрионов. Было также показано, что метилирование под действием БФА может как увеличиваться, так и уменьшаться для различных генов. Недавно удалось обнаружить, что под влиянием БФА меняется метилирование импринтированных генов в ооцитах мыши с участием эстрогеновых рецепторов [51]. Авторы изучали два импринтированных гена *Igf2r* и *Peg3* в ходе созревания ооцитов и нашли, что оба этих гена деметируются под воздействием БФА, что сопровождалось усилением экспрессии эстрогенового рецептора на уровне мРНК и белка. То есть, эти данные, во-первых указывают на упомянутую выше взаимосвязь двух систем регуляции – эпигенетической и рецепторной, а также на возможную роль нарушения метилирования импринтированных генов в инверсии полового диморфизма, в том числе и в функционировании мозга и поведении. Действительно, БФА стимулировал в низкой концентрации через эстрогенный путь дифференцировку прогениторных клеток в нейроны и нарушал развитие неонатального мозга [52], причем по-разному для различных отделов мозга. Важным свидетельством действия БФА на нервную систему являются данные о возрастании риска развития болезни Паркинсона у потомства матерей, получавших БФА во время беременности [53]. Такого рода эффект может быть связан с различиями в паттерне метилирования для различных типов органов, тканей и даже типов клеток у млекопитающих [11].

Ранее была предположена роль метилирования ДНК в нейрональном развитии и сопутствующих заболеваниях, включая психические расстройства [54]. Эпидемиологические исследования указывают, что неблагоприятные условия в перинатальном периоде и в раннем детстве ведут к ментальным нарушениям в злом возрасте. Тем не менее, остается неясным, каким образом неблагоприятные воздействия в перинатальном периоде могут вести к ментальным и поведенческим расстройствам в зрелости. Метилирование ДНК, как упоминалось, может быть особенно чувствительным к

воздействию факторов окружающей среды, и при этом метилирование остается относительно стабильным в дальнейшем. Кроме собственно метилирования ДНК в ходе развития необходимо рассматривать и структуру хроматина, так как в клетках ДНК находится в его составе и внешние факторы могут воздействовать на белковые составляющие хроматина. На роль гистоновых маркеров, как носителей клеточной памяти указывают последние исследования [18], а различные неканонические варианты гистонов могут участвовать в ответе на факторы окружающей среды [19].

Поскольку БФА может связываться с несколькими рецепторами половых гормонов, он может изменить эндогенные концентрации таких гормонов. Даже незначительные изменения концентраций гормонов может приводить к нарушениям развития полового диморфизма ядер головного мозга и поведения [55]. Поскольку БФА свободно поступает от матери к ребенку через плаценту и в грудное молоко, а перинатальный период является решающим для развития мозга, воздействие БФА в течение этого периода может нарушить нормальный процесс маскулинизации / феминизации мозга и, в свою очередь, нарушать поведение. В самом деле, у крыс при перинатальном воздействии БФА наблюдались измененная половая дифференцировка в locus coeruleus мозга, связанном с реакцией на стресс. У мышей внутриматочные экспозиции БФА приводили к нарушениям половозависимой реакции в тесте открытого поля у взрослых животных [56], а также к маскулинизированному поведению у крыс-самок. Кроме того, воздействие низкими дозами БФА во время беременности вело к трансгенерационным эпигенетическим эффектам, проявлявшимся в отклонениях социального поведения у потомства, сопровождавшимися уменьшением экспрессии мРНК вазопрессина и окситоцина - двух пептидов важных для формирования адекватного социального поведения [47]. Исследования на животных показывают, что постнатальное воздействие БФА может повлиять на развитие коры головного мозга у эмбрионов за счет ускорения нейрогенеза и вызывая дефекты миграции нейронов.

Несмотря на ряд достаточно убедительных свидетельств, что БФА представляет потенциальный риск для воспроизводства, развития и отдаленных фенотипических последствий, механизм действия БФА на ранних стадиях эмбрионального развития до сих пор неизвестен. Эмбриональные стволовые клетки (ЭСК) представляют собой потенциально важные мишени для тестирования токсических эффектов, вызываемых химическими веществами окружающей среды [57], и, как нам представляется крайне важный участник механизма эпигенетической памяти при развитии от эмбрионального и раннего постнатального периода до взрослого состояния. Действительно, было найдено, что БФА влиял на регуляцию маркеров плюрипотентности (Oct4, Sox2 и Nanog) на уровне

мРНК и белков и, тем самым на дифференцировку [58]. Другой фитоэстроген - генистеин также менял общегеномное метилирование при дифференцировке ЭСК. Указанная роль ЭСК связана с тем, что они обладают открытым и динамичным хроматином, который лежит в основе их пластичности и, в конечном итоге, сохраняет плюрипотентность ЭСК. Эпигеном ESC должен не только поддерживать транскрипцию генов, ассоциированных с плюрипотентностью, но должен также облегчать генный "priming", то есть быструю и мобильную активацию специфических для данного типа клеток. При межгенерационном наследовании должна стабильно поддерживаться описанная структура хроматина при высокой лабильности и обратимости эпигенома. Мы считаем, что такой структурой, хотя, возможно, и в меньшей степени должны обладать не только ЭСК, но и прогениторные и "взрослые" стволовые клетки.

7.3.8 Дальнейшие исследования

Независимо от того, осуществляются эпигенетические эффекты БФА через стероидные рецепторы или по не зависящему от таких рецепторов пути, на сегодняшний день накоплено недостаточно знаний относительно эффекторных белков прямого действия, влияющих на метилирование ДНК. То есть, гипометилирующее действие БФА может быть связано с влиянием на активность ферментов метилирования и поддержания метилирования ДНК (ДНК-метилтрансфераз), либо с действием на активное деметилирование ДНК с участием ТЕТ белков и образованием гидроксиметилцитозина. Показано, что эстрадиол может влиять на активность DNMT в гиппокампе. Но, с другой стороны, Bromer и соавторы (2010.) не обнаружили изменений в активности DNMT при деметилировании гена Noh10 при воздействии БФА в матке 2-недельных животных. При рассмотрении вопроса о возможности трансгенерационного наследования эпигенетических и эпигеномных изменений, индуцированных экотоксикантами и, в частности БФА, необходимо рассмотрение эпигенома первичных половых клеток. Первичные половые клетки (ППК) являются недифференцированными клетками зародышевой линии в эмбрионах, которые появляются на ранних стадиях эмбрионального развития, а затем дифференцируются в гонадах в яйцеклетки или спермии. В ходе формирования ППК происходят динамические изменения эпигенетических модификаций, включая ДНК метилирование и модификации гистонов, обеспечивающие процессы перепрограммирования, которые необходимы для обеспечения тотипотентности ППК при переходе к стадии зиготы. В последнее время, геномные исследования показали, что мышинные ППК претерпевают общее деметилирование ДНК, начинающееся вскоре после формирования ППК в ранних зародышах, что особенно важно для стирания импринта,

основанного на метилировании ДНК, что, в свою очередь, необходимо для правильной транскрипционной регуляции. Для ППК характерны также уникальные паттерны модификаций гистонов – таких как гипометилирование H3K9 и гиперметилирование H3K27, также необходимые для развития ППК [59].

Таким образом, при рассмотрении эпигенетических механизмов действия БФА, остаются важные вопросы. Имеют ли место изменения в уровнях DNMT или их активности в течение определенных периодов развития? Если так, то могут ли эти изменения сохраняться у взрослых в некоторых тканях? Вовлечено ли активное деметилирование в механизмы воздействия БФА? Как БФА влияет на модификации гистонов на уровне одиночных генов и генома в целом, и как это может быть связано с метилированием ДНК? Какие изменения под действием БФА возникают в ППК и при их дифференцировке как в яйцеклетки, так и в спермии и как такие пертурбации коррелируют с изменениями эпигенетических характеристик в различных клетках мозга и возникающими поведенческими ментальными функциями у потомства экспонированных животных?

7.3.9 Перспективы дальнейших исследований

Важнейшей проблемой для России является относительно невысокая продолжительность жизни людей и постоянный рост числа людей с тяжелыми заболеваниями с наследственной предрасположенностью (рак, сердечно-сосудистые патологии; когнитивные, нейродегенеративные, неврологические заболевания и состояния). Общеизвестно, что здоровье человека напрямую зависит от повреждающего действия различных факторов окружающей среды.

Однако до последнего времени механизмы этих воздействий оставались далеко не ясными. В настоящее время приблизиться к их пониманию стало возможным, благодаря развитию эпигенетики, изучающей модификации отдельных генов (метилирование ДНК и различные модификации гистонов) и эпигеномики, относящейся к модификации генома в целом, и соответствующих методов исследования. Наиболее важной модификацией генов и генома является метилирование ДНК – единственная модификация, способная передаваться между поколениями. Присущая эпигеному пластичность (в том числе обратимость) делает его достаточно легко перепрограммируемым. Такого рода перепрограммирование может быть вызвано продуктами питания, химическими, физическими и инфекционными факторами. Связь факторов внешней среды с развитием и тяжестью протекания различных распространенных патологий человека известна, но механизмы такого влияния стали разъясняться лишь в последние несколько лет. Это

обусловлено установлением роли эпигенетических и эпигеномных модификаций генома (то есть не связанных с первичной последовательностью ДНК) в качестве интерфейса между средой и организмом. Именно эти модификации являются высоко лабильными и подверженными влияниям указанным выше факторам, причем в наиболее значительной степени в эмбриогенезе и гаметогенезе. При этом, как сейчас установлено, такие изменения эпигенома в значительной мере обуславливают развитие патологий уже во взрослом состоянии, особенно при старении.

Развитие экологической эпигенетики и эпигеномики позволяет исследовать изменения в эпигенетическом маркировании под воздействием указанных факторов, ведущих к изменениям в генной экспрессии и возникновению патологий и более того, к увеличенной предрасположенности к их возникновению в последующих поколениях. Эпигенетическое трансгенерационное наследование представляет собой альтернативный в сравнении с классической генетикой молекулярный механизм передачи в линии половых клеток фенотипических изменений, индуцированных факторами внешней среды. Большинство факторов внешней среды не могут изменять последовательности ДНК, но питание, различные токсические вещества или патогенные микроорганизмы могут влиять на эпигенетические процессы и менять картину экспрессии генов. Экологическая эпигенетика фокусируется на том, как клетка или организм реагирует на факторы окружающей среды, создавая измененные фенотипы или болезни. При этом эпигенетические модификации могут опосредовать специфичные механизмы токсичности и реакции на определенные химические вещества. Поскольку эти эпигенетические изменения малы, потенциально кумулятивны, а также могут со временем расширяться, установление причинно-следственных связей между факторами окружающей среды, эпигенетическими изменениями и заболеваниями является непростой задачей.

"Эмбриональная основа взрослых болезней" или гипотеза "раннего происхождения" утверждают, что питание и другие факторы окружающей среды во время беременности и раннего развития влияют на клеточную пластичность, тем самым влияя на восприимчивость к болезням взрослого возраста. Упомянутые выше факторы окружающей среды могут изменять экспрессию генов и влиять на взрослый фенотип, не только вызывая мутации промоторов и кодирующих областей генов, но и путем изменения метилирования CpG и других модификаций в эпигенетически значимых лабильных областях генома. Загрязнение воздуха может вызывать изменения в общем профиле метилирования ДНК. Особую роль в возникновении заболеваний могут играть эпигенетические модификации различных повторяющихся последовательностей ДНК, так как именно они наиболее чувствительны к внешним воздействиям, включающим питание

и различные химические и физические факторы. Именно такие последовательности обуславливают индивидуальные фенотипические различия между организмами и индивидуальную предрасположенность к заболеваниям.

Развивающиеся организмы особенно чувствительны к пертурбациям эндокринной регуляции, вызываемым химикатами с гормоноподобной активностью. В половых клетках млекопитающих и в доимплантационных эмбрионах метилирование ДНК претерпевает два цикла деметилирования/реметилирования, в которых происходит широкогеномное перепрограммирование. В результате образуются клетки с разнообразным потенциалом дифференцировки. Имеющиеся данные указывают, что воздействие ксенобиотиками во время критических периодов развития млекопитающих может вызывать стойкие и наследуемые изменения эпигенетических состояний. В этом случае эпигенетически активные агенты могут воздействовать и на здоровье взрослых людей. Эпигенетические факторы и факторы окружающей среды участвуют в передаче эффектов недостаточной или чрезмерной диеты, и эти нарушения также могут быть переданы как по материнской, так и по отцовской линии в виде определенных эпигенетических или эпигеномных маркеров, закрепленных в структуре хромосом и/или хромосомных доменов.

Именно эта трансгенерационная персистенция эпигенетических изменений и её потенциальное влияние делают изучение воздействия окружающей среды на эпигенетическую регуляцию важным аспектом исследований окружающей среды и молекулярной токсикологии. При этом остается неясным, как переданные по наследству измененные под действием среды эпигенетические маркеры могут вести к повышенной предрасположенности к развитию патологий, таких как рак, нейродегенеративные, неврологические, когнитивные и сердечнососудистые заболевания. Неизвестно также, существует ли некий порог эпигенетических изменений, и как определенные комбинации таких изменений (эпигенетический код), вызывают те или иные заболевания.

Необходимы дальнейшие исследования для решения вопроса о том, как заболевания могут приводить к различным эпигенетическим изменениям под воздействием различных условий среды (в том числе в различных географических точках). Такие исследования будут носить характер эпидемиологических, что подчёркивает важную роль эпигенетики популяций для медицины. Крайне важно изучение возможной роли экотоксикантов, воздействующих на эпигеном, как триггеров усиления патогенеза различных заболеваний, вызванного уже известными факторами, как стресс, питание, бактериальные инфекции и др.

Фундаментальные исследования, которые необходимо провести: (1) изучение механизмов возникновения индуцированных эпигенетических и эпигеномных

модификаций при экологически релевантных концентрациях экотоксикантов и при воздействии радиационного ионизирующего облучения невысокой интенсивности, в том числе и при терапии; (2) изучение фенотипических и популяционных последствий этих изменений; и (3) изучение передачи этих изменений последующим, не подвергавшимся воздействию, поколениям.

Таким образом, основные цели дальнейших исследований заключаются в следующем: 1). Выявление факторов внешней среды, характерных для нашей страны, ведущих к эпигеномным отклонениям от нормы и к эпигенетическим изменениям отдельных генов, в первую очередь повторяющимся последовательностям ДНК в их составе, как наиболее чувствительным мишеням таких влияний; 2). Установление эпигенетических и эпигеномных модификаций ДНК, возникающих в отдельных хромосомах и хромосомных доменах под влиянием различных экотоксикантов у взрослых и развивающихся модельных животных в их клетках, органах, тканях, а также в клеточных культурах человека; 3). Установить закономерности межгенерационного наследования индуцированных внешними факторами эпигенетических и эпигеномных модификаций ДНК; 4). Изучить жизнедеятельность потомства экспонированных животных и людей, включая когнитивные и поведенческие характеристики, особенности морфологии и экспрессии ряда генов в головном мозге, отклонения в экспрессии генов, связанных с перечисленными патологиями; 5). Проследить при использовании эпидемиологического подхода популяционные и этнические закономерности связи между эпигеномными и эпигенетическими модификациями и наличием распространенных патологий; 6). Установить могут ли одни и те же заболевания быть связаны с различным эпигенетическим статусом под воздействием различных условий среды, в том числе, в различных географических точках нашей страны.

Необходимо изучать: влияние экотоксикантов различной природы на эпигенетические и эпигеномные модификации в ДНК, отдельных генах, связанных с социально-значимыми заболеваниями человека, у взрослых животных-моделях, зародышах, гаметах и клеточных культурах; эпигенетические характеристики ряда минисателлитных повторов ДНК, локализованных в генах человека, связанных с основными патологиями человека в различных популяциях; оценить закономерности наследования эпигенетических и эпигеномных изменений, возникших под влиянием изучаемых внешних факторов и предложен подход к возможной терапии на основе использования эпигенетических лекарств. Одной из основных целей должно быть изучение у экспонированных животных и их потомства патологических изменений в мозгу в поведении, когнитивных проявлениях.

Список библиографических источников

1. Vandegehuchte MB, Janssen CR. (2014) *Mutat Res Genet Toxicol*, 764-765, 36-45.
2. Newman MC, Clements WH. (2008) CRC Press, Boca Raton, FL.
3. Паткин ЕЛ, Софронов ГА. (2012) *Эколог Генет*, 10 (4), 14-28.
4. Паткин ЕЛ, Павлинова ЛИ, Софронов ГА. (2013). *Биосфера*, 5, 4, 450-472.
5. Ou XF, Zhang YH, Xu CM, et al., (2012) *PLoS ONE*, 7: e41143.
6. Manikkam M, Tracey R, Guerrero-Bosagna C, Skinner MK. (2013) *PLoS ONE* 8 (1):e55387.
7. Anway MD, Skinner M.K. (2006). *Endocrinology*, 147, S43–S49.
8. Inawaka K, Kawabe M, Takahashi S et al., (2009) *Toxicol Appl Pharmacol*, 237, 178–187.
9. Doshi T, D'Souza C, Dighe V, Vanage G. (2012). *J Biochem Mol Toxicol*, 26, 337–343.
10. Ficiz G, Branco MR, Seisenberger S et al., (2011) *Nature*, 473, 398-402.
11. Kato T, Iwamoto K. (2014). *Neuropharmacology*, 80, 133-139.
12. Franchini DM, Schmitz KM, Petersen-Mahrt SK. (2012). *Annu Rev Genet*, 46, 419-441.
13. Patkin E.L. (2002) *International Review of Cytology*. 216, 81-130.
14. Ito S, D'Alessio AC, Taranova OV, et al., (2010). *Nature*, 466, 1129-1133.
15. Kriaucionis S, Heintz N. (2009) *Science*, 324, 929-930.
16. Shen L, Wu H, Diep D, et al. (2013). *Cell*, 153, 692-706.
17. Lister R, Mukamel EA, Nery JR, et al., (2013) *Science*, 341(6146), 1237905.
18. Campos EI, Stafford JM, Reinberg D. (2014) *Trends Cell Biol*, 24(11), 664-674.
19. Talbert PB, Henikoff S. (2014). *Trends Cell Biol*, 24(11), 642-650.
20. Li B, Carey M, Workman JL. (2007). *Cell*, 128, 707–719.
21. Fuks F. (2005). *Curr Opin Genet Dev*, 15, 490–495.
22. Feng S, Jacobsen SE, Reik W. (2010) *Science*, 330, 622–627.
23. Kundakovic M, Frances A. Champagne FA. (2011). *Brain Behav Immun*, 25, 1084
24. Golebiewska A, Atkinson SP, Lako M, Armstrong L. (2009) *Stem Cells*, 27, 1298–1308.
25. Li W, Liu M. (2011). *J Nucleic Acids*, 2011, 870726.
26. Jirtle RL, Skinner MK. (2007). *Nat Rev Genet*, 8 (4), 253–262.
27. Lange UC, Schneider R. (2010). *Bioessays*, 32, 659–668.
28. Guerrero-Bosagna C, Settles M, Lucker B, Skinner MK. (2010). *PLoS ONE*, 5 (9), pii: e13100.
29. Ling C, Groop L. (2009). *Diabetes*, 58 (12), 2718-2725.
30. Lang IA, Galloway TS, Scarlett A, et al., (2008). *JAMA*, 300, 1303–1310.
31. Alonso-Magdalena P, Morimoto S, et al (2006). *Environ Health Perspect*, 114, 106–112.

32. Carwile JL, Michels KB. (2011) *Environ Res*, 111, 825–830.
33. Caserta D, Di Segni N, Mallozzi M, et al., (2014). *Reprod Biol Endocrinol*, 12, 37.
34. Durando M, Kass L, Piva J. et al., (2007) *Environ Health Perspect*, 115, 80–86.
35. Prins GS, Hu WY, Shi GB, et al., (2014). *Endocrinology*, 155, 805–817.
36. Hassan ZK, Elobeid MA, Virk P, et al., (2012). *Oxid Med Cell. Longev.* 2012:194829
37. Hajszan T, Leranath C. (2010). *Front Neuroendocrinol*, 31, 519–530.
38. Chen M, Zhou K, Chen X, et al., (2014) *Toxicol Sci*, 138 (2), 256–267.
39. Patisaul HB, Adewale HB. (2009) *Front Behav Neurosci*, 3,10.
40. Dolinoy DC, Huang D, Jirtle RL. (2007). *Proc Natl Acad Sci USA*, 104 (32), 13056–13061
41. Cooney CA, Dave AA, Wolff GL. (2002). *J Nutr*, 132, 2393S–2400S.
42. Biddie SC. (2011) *J Neuroendocrinol*, 23 (1), 94–106.
43. Bromer JG, Zhou Y, Taylor MB et al. (2010) *FASEB J*, 24, 2273–2280.
44. Yin R, Gu L, Li M, et al., (2014). *PLoS ONE*, 9(6): e98635.
45. Champagne FA, Curley JP. (2008). *Curr Opin Pharmacol*, 8, 735–739.
46. Miao S, Gao Z, Kou Z, et al. (2008). *J Toxicol Environ Health A*, 71, 1000–1008.
47. Wolstenholme JT, Edwards M, Shetty SR, et al., (2012). *Endocrinology*, 153, 3828–3838.
48. Lister R, Pelizzola M, Downen RH, et al., (2009) *Nature*, 462 (7271), 315–322.
49. Guo W, Chung WY, Qian M. et al., (2014). *Nucleic Acids Res*, 42(5), 3009-3016.
50. Mattout A, Meshorer E. (2010) *Curr Opin Cell Biol*, 22, 334–341.
51. Chao H-H, Zhang X-F, Chen B, et al., (2012). *Histochem Cell Biol*, 137, 249–259.
52. Kim K, Son TG, Park HR, et al., (2009). *J Toxicol Environ Health A*, 72, 1343–1351.
53. Huang B, Jiang C, Luo J et al.(2014). *Medical Hypotheses*, 82(3), 245-249. –1093.
54. Yao B, Jin P. (2014). *Cell Mol Life Sci*, 71(3), 405-418.
55. Mileva G, Baker SL, Konkle AT, Bielajew C. (2014). *Int. J. Environ. Res.*, 11, 7537-7561.
56. Gioiosa L, Fissore E, Ghirardelli G et al., (2007). *Horm Behav*, 52, 307–316.
57. Rasmussen TP. (2014). *Mol Reprod Dev*, 81, 194–201.
58. Chen X, Xu B, Han X, et al., (2013). *Toxicol in Vitro*, 27 (8), 2249–2255.
59. Matsui Y, Mochizuki K. (2014). *Mol Reprod Dev*, 81 (2),160-170.

7.4 Старение и рак: от молекулярных механизмов к средствам профилактики

В связи с глобальным постарением населения, то есть, увеличением в его структуре доли пожилых, и нарастанием частоты ассоциированных с возрастом заболеваний, прежде всего, злокачественных новообразований, актуальным является поиск механизмов взаимосвязи процессов старения и канцерогенеза и разработка средств и методов предупреждения преждевременного старения, продления трудоспособного периода жизни, профилактики злокачественных новообразований. На лабораторных животных (нематоды, дрозофилы, мыши и т.п.) удается достигнуть замедления старения и продления активной жизни. Поэтому, исходя из общности фундаментальных механизмов старения, есть основания полагать возможным замедление старения у людей. Расширение наших знаний о старении позволит лучше противостоять таким истощающим организм патологиям, связанным со старением, как рак, сердечно-сосудистые заболевания, диабет II типа и болезнь Альцгеймера. Терапия, основанная на знании фундаментальных механизмов старения, будет способствовать лучшему противодействию этим возрастным патологиям.

Интенсификация исследований фундаментальных механизмов старения и поиска способов его замедления может привести к намного большим дивидендам, чем при непосредственном противостоянии возрастным патологиям. Поскольку механизмы старения становятся все более и более понятными, могут быть разработаны эффективные средства вмешательства в этот процесс. Это позволит значительному количеству людей продлить здоровую и продуктивную жизнь.

Перспективными направлениями исследований являются:

- Создание методологии оценки влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на биологический возраст населения России;
- Разработка доступных и эффективных средства коррекции биологического возраста;
- Разработка доступных и эффективных средства профилактики злокачественных новообразований.

В аналитическом обзоре представлен анализ современных подходов к изучению канцерогенной безопасности, антиканцерогенной и геропротекторной активности фармакологических препаратов, обсуждается роль системы гормонов роста – инсулиноподобный фактор роста-1 – инсулин – глюкоза и, тесно с ней связанной протеинкиназы mTOR в механизмах старения и канцерогенеза, перспективы

применения антидиабетических бигуанидов, рапамицина и его аналогов как геропротекторов и антиканцерогенов. Кроме того, в обзоре рассмотрено состояние проблемы светового десинхроноза, как фактора способствующего преждевременному старению и ускорению старения и развитию злокачественных новообразований. В заключительном разделе обзора обсуждаются перспективы и значение исследований продолжительность жизни у представителей различных творческих профессий (ученых, писателей, поэтов, художников, музыкантов, артистов, певцов и т.д.). По всем рассматриваемым направлениям в соответствующих разделах обзора указаны ведущие ученые и учреждения мира, России и отмечено, что ученые Санкт-Петербурга занимают в них достойные позиции, ими получены приоритетные результаты, о чем свидетельствуют публикации в высокорейтинговых журналах.

Поддержка и развитие исследований в указанных направлениях позволит получить практически важные результаты и будет способствовать укреплению авторитета петербургской школы онкогеронтологии.

7.4.1 Современные подходы к изучению канцерогенной безопасности, антиканцерогенной и геропротекторной активности фармакологических препаратов

Увеличение продолжительности активной жизни человека является одной из важнейших задач геронтологии и в целом современной профилактической медицины. В связи с этим, встает вопрос о безопасности длительного применения средств продления жизни, что включает не только непосредственные побочные и токсические эффекты, но и отдаленные последствия, включая развитие новообразований. С другой стороны, прогресс медицины невозможен без создания новых фармакологических препаратов, среди которых средства с противоопухолевым и антиканцерогенной активностью представляют особый интерес.

Физиология грызунов имеет значительное сходство с физиологией человека, особенно на клеточном уровне, что позволяет широко использовать их для тестирования фармакологических средств и экстраполяции результатов таких исследований на человека (Anisimov et al., 2005). Выбор той или иной линии может определяться конкретными задачами исследования или такими их особенностями, которые дают дополнительную важную информацию, поставленную при планировании эксперимента.

Мы полагаем, что многолетний опыт использования той или иной линии мышей и крыс в лаборатории, проводящей биологические испытания, должен стать определяющим при выборе объектов для тестирования различных препаратов. В ряде работ обсуждается

роль таких важных для корректного проведения экспериментов факторов, как условия содержания и диета (Nadon, 2006). Следует заметить, что содержание животных в условиях стерильного вивария (SPF, specific pathogenic free) не оказывает существенного влияния на продолжительность их жизни.

Интегральным методом оценки безопасности служит тестирование в долгосрочных экспериментах на канцерогенность, поскольку при этом оцениваются и другие токсические и побочные эффекты изучаемых соединений. Испытания канцерогенности регламентируются требованиями, приведенными в «Руководстве по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» (2005). При планировании опытов следует учитывать особенности испытуемого вещества, связанные с его растворимостью, токсичностью и предполагаемыми путями и длительностью введения человеку. Краткосрочные тесты (на мутагенность: тест Эймса, СОМЕТ-тест; тесты на плодовых мушках, аквариумных рыбах и др.) могут быть полезны для предварительной оценки возможной канцерогенности веществ, но не заменяют долгосрочные тесты на грызунах (Montesano et al., 1986).

Химиопрофилактику рака в настоящее время определяют как использование фармакологических или натуральных агентов с целью предотвращения возникновения инвазивного рака путем блокирования повреждений ДНК, инициирующих канцерогенез, или путем задержки и обратного развития пренеопластических клеток с поврежденной ДНК (Meyskens et al., 2011). Антиканцерогенные вещества подразделяют на два класса: 1) ингибиторы инициации – предупреждающие абсорбцию и формирование канцерогенов, блокирующие агенты; 2) ингибиторы промоции, или подавляющие агенты.

Потенциальные химиопрофилактические средства выявляются в эпидемиологических исследованиях, в лабораторных экспериментах и клинических испытаниях. Для испытания антиканцерогенной активности препаратов предложены различные системы *in vitro* и *in vivo*.

В настоящее время экспериментальная онкология располагает возможностями моделировать практически в любом органе опухоли, близкие по гистологическому типу к новообразованиям у человека. Для тестирования и оценки эффективности антиканцерогенных веществ чаще всего используются модели опухолей, индуцированные в различных органах-мишенях у лабораторных грызунов с помощью химических и радиационных канцерогенов (Анисимов и др. 2012).

Преимуществом моделей индуцированных опухолей является стандартизация процесса канцерогенеза, возможность изучения влияния препарата на различные его

стадии (инициацию, промоцию, прогрессию), а также относительно небольшая продолжительность опытов (обычно в пределах 6-12 мес.).

Другую группу моделей составляют спонтанные опухоли. Тестирование потенциальных антиканцерогенных веществ на моделях спонтанных опухолей требует значительного времени (исследование проводится, как правило, в течение всей жизни животного), однако позволяет оценить последствия длительного применения подобных препаратов, что важно для экстраполяции полученных экспериментальных данных на человека.

Критериями наличия антиканцерогенных свойств у тестируемых препаратов являются: уменьшение частоты индуцируемых и спонтанных опухолей, их множественности, размеров, увеличение латентного периода их развития. На ранних сроках таких исследований может регистрироваться также развитие предопухолевых изменений, определяемых по биомаркерам опухолевого риска, включающих генетические нарушения, хромосомные aberrации, уровень клеточной пролиферации, образование aberrантных фокусов и нарушение дифференцировки тканей. Учитывается также системное действие исследуемого препарата на метаболизм, нейроэндокринную и иммунную системы.

Несмотря на довольно значительное количество веществ, обладающих антиканцерогенными свойствами, поиск новых антиканцерогенов продолжается. Исследования направлены на поиск "идеальных" антиканцерогенов, имеющих высокую эффективность, широкий спектр действия и безопасных при длительном применении. Средства для химиопрофилактики рака в идеале должны отвечать следующим основным требованиям: 1) доказанная на экспериментальных моделях и в клинических испытаниях эффективность – способность предупреждать возникновение и развитие злокачественной опухоли определенной локализации или ряда локализаций; 2) возможность применения в течение длительного времени – многолетнего или даже постоянного в течение всей жизни; 3) отсутствие токсических эффектов или минимальная токсичность, чтобы риск возможных осложнений был допустимым в сравнении со снижением риска возникновения рака; 4) желательные дополнительные благоприятные свойства, достигаемые в более короткие сроки; 5) лекарственные формы должны быть только пероральными, в некоторых случаях – местными для нанесения на кожу и слизистые оболочки. В научной и практической медицине растет интерес к природным антиканцерогенным веществам, содержащимся в пищевых продуктах, лекарственных растениях, которые отвечают большинству требований к "идеальным" средствам для профилактики рака.

В 2000 г. Национальным институтом старения США была начата Программа тестирования средств воздействия на старение (Interventions Testing Program, ИТП), предполагающая использование мышей для тестирования веществ с потенциальной способностью увеличивать продолжительность жизни и замедлять развитие болезней и дисфункций (Warner et al., 2000). Такие воздействия включают фармакологические средства, нутрицевтики, пищевые продукты, диеты, пищевые добавки, экстракты растений, гормоны, пептиды, аминокислоты, хелатные агенты, антиоксиданты и др. Вмешательства, которые требуют интенсивных форм введения, таких как ежедневные инъекции или введение с зондом, не будут исследоваться в рамках ИТП. Среди препаратов, испытания которых еще продолжаются, ресвератрол, куркумин, экстракт зеленого чая, N-ацетилцистеин, симвастатин и др.

Ведущими учреждениями (в скобках указаны имена специалистов) по испытаниям геропротекторной активности препаратов в США являются :

- Buck Institute for Research on Aging, 80001 Redwood Blvd., Novato, CA, 93945 USA (Kennedy B.C.);
- Nutritional Neuroscience and Aging Laboratory, Pennington Biomedical Research Center, LSU System, Baton Rouge, LA, USA (Ingram D.K.);
- Department of Pathology and Geriatrics Center, University of Michigan, BSRB 3001, 109 Zina Pitcher Place, Ann Arbor, MI 48109-2200, USA (Miller R.A.);
- Office of Biological Resources and Resource Development, National Institute on Aging, 7201 Wisconsin Ave., GW2C231, Bethesda, MD 20892, USA. (Nadon N.L.)
- Department of Biochemistry, University of California at Riverside, Riverside, CA, 92521, USA (Spindler S.R.)

В Западной Европе в последние годы такого рода эксперименты практически не выполняются, возможно, из-за их сложности, длительности и высокой стоимости.

В России исследованиями канцерогенного потенциала и геротекторной активности фармакологических препаратов в настоящее время на международном уровне занимается весьма ограниченное число учреждений. Среди них:

- НИИ онкологии им. Н.Н.Петрова Минздрава России, Санкт-Петербург
- Российский онкологический научный центр им.Н.Н.Блохина РАМН, Москва
- Институт физико-химической биологии им. А.Н.Белозерского МГУ. Москва
- Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск

Нами был разработан и в течение многих лет успешно используется стандартный протокол испытаний потенциальных геропротекторов, основная часть которого включена

в вышедшее в США двумя изданиями руководство “Биология старения: Методы и протоколы” (Anisimov et al., 2007, 2013). Описанная методика тестирования была использована нами при изучении биологической активности ряда более 30 фармакологических препаратов и веществ (Анисимов и др., 2012).

В 2001 г. нами было обосновано предложение о создании международной программы (проекта) по оценке эффективности и безопасности применения геропротекторов (Anisimov, 2001). За основу такого проекта можно было бы взять хорошо зарекомендовавшие себя программы оценки канцерогенного риска для человека химических веществ и оценки средств профилактики рака, осуществляемые МАИР. Следует признать, что в настоящее время нет ни одного препарата, геропротекторная активность которого была бы безусловно доказана на людях. К средствам, которые можно было бы рекомендовать для практического применения, следует отнести мелатонин, дегидроэпиандростерон, эпиталамин, тималин, антидиабетические бигуаниды, некоторые антиоксиданты. Эти препараты являются наиболее вероятными кандидатами для проведения многоцентровых рандомизированных клинических испытаний.

7.4.2 Исследования роли системы гормон роста – инсулиноподобный фактор роста-1 – инсулин – глюкоза в механизмах старения и канцерогенеза.

Вне сомнения, одной из наиболее «горячих точек» в современной геронтологии является вопрос о роли возрастных изменений в системе гормон роста (ГР) / инсулиноподобный фактор роста-1 (IGF-1) / инсулин в механизме старения и развития ассоциированной с возрастом патологии, включая рак (Sonntag et al., 1999; Анисимов, 2008). Низкий уровень IGF-1 во время взрослой жизни способствует долголетию нематод, мух и мышей (Bartke, 2005). Избыток IGF-1 увеличивает риск развития рака. Дети с очень большим ростом, больные акромегалией и собаки крупных пород, имеют высокий уровень IGF-1 и высокий риск рака. Низкий уровень IGF-1 в молодом возрасте может иметь неблагоприятные последствия, увеличивая вероятность переломов костей в пожилом возрасте, но, в конечном счете, благоприятный эффект у очень старых.

Несмотря на то, что введение ГР и IGF-1 старым животным оказывало ряд благоприятных эффектов, в частности стимулировало внутриклеточный синтез белка, когнитивные функции, толщину кожи, массу костей, иммунную функцию и рост сосудов у животных и человека, длительное их применение может представить большую опасность для организма, стимулируя развитие неопластического процесса. У человека высокий уровень IGF-1 в крови является фактором риска для рака молочной железы, рака легких и предстательной железы, тогда как снижение его может быть важным в

профилактике возрастной патологии. В целом, дефицит ГР и IGF-1 у человека ассоциируется с серьезной патологией и заболеваниями. Однако, нормальная ПЖ у отдельных пациентов с мутациями, аналогичными тем, что приводят к увеличению ПЖ у мышей, позволяет предполагать, что, снижая уровень ГР и IGF-1, можно увеличить ПЖ у человека.

Антидиабетические бигуаниды (фенформин, буформин, метформин), наряду с гипогликемическим действием, обладают также способностью улучшать утилизацию глюкозы в тканях, снижать использование организмом жирных кислот в качестве энергетического субстрата, угнетать неоглюкогенез, снижать его биосинтез, снижать концентрацию в крови холестерина, триглицеридов и инсулина, а также биосинтез холестерина и, кроме того, уменьшать массу тела. Эти свойства антидиабетических бигуанидов, а также способность устранять явления метаболической иммунодепрессии послужили основанием для их использования в качестве геропротекторов и в онкологической клинике для нормализации некоторых нарушений обмена и иммунитета, свойственных онкологическим больным (Dilman, 1994). На различных моделях канцерогенеза установлено, что фенформин и буформин тормозят развитие опухолей различного гистогенеза и локализаций (Anisimov, 2013). Исследования, выполненные на животных, получили подтверждение в клинических наблюдениях (Берштейн, 2012).

Ведущими специалистами и учреждениями по изучению роли системы гормон роста - IGF-1 – инсулин – глюкоза в старении и раке, геропротекторного и антиканцерогенного действия метформина являются:

- Southern Illinois University School of Medicine, Department of Internal Medicine, Geriatric Research, Springfield, Illinois 62703, USA. (Bartke A.);
- Metabolism and Cancer Group, Translational Research Laboratory, Catalan Institute of Oncology-Girona (ICO-Girona), Girona, Spain (Menendez J.A)ж
- Departments of Experimental Medicine and Oncology, McGill University, Montreal, Quebec, Canada (Pollak M.)

В России изучением этого круга вопросов занимаются : НИИ онкологии им. Н.Н.Петрова, Санкт-Петербург (Анисимов В.Н., Берштейн Л.М.)

Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург (Михельсон В.М., Спивак И.М.)

Имеющиеся данные позволяют рассматривать применение метформина в качестве перспективного средства для профилактики ассоциированной с возрастом патологии. Применение метформина и других бигуанидов снижает более, чем на треть общую смертность, смертность от инфарктов миокарда и от осложнений сахарного диабета,

улучшает выживаемость онкологических больных и снижает риск рака молочной железы у больных сахарным диабетом 2-го типа (Taubes, 2012). В опытах на лабораторных грызунах выявлен геропротекторный эффект антидиабетических препаратов, сопровождавшийся снижением частоты развития спонтанных опухолей. Установлено, что бигуаниды тормозят развитие индуцированных опухолей, а также угнетают рост ряда трансплантируемых опухолей.

7.4.3 Роль протеинкиназы mTOR в поддержании клеточного гомеостаза, развитии опухолей и старении

Высококонсервативная серин/треониновая протеинкиназа mTOR (mechanistic target of rapamycin, механистическая мишень для рапамицина, ранее использовалось обозначение mammalian target of rapamycin, мишень для рапамицина у млекопитающих) принадлежит к семейству фосфатидилинозитолкиназ PIKK (phosphatidylinositol 3' kinase-related kinases), и является ключевым ферментом mTOR-сигнального пути, регулирующего накопление клеточной массы у многих эукариот (Пархитько и др., 2013).

Киназный комплекс mTORC1 участвует в регуляции лизосомального биогенеза через фосфорилирование транскрипционного фактора TFEB и предотвращение его транслокации в ядро. В результате длительного ингибирования киназного комплекса mTORC1 и активации аутофагии происходит реактивация mTORC1, что в конечном итоге приводит к снижению уровня аутофагии и образованию прелизосомальных структур. Последние, в свою очередь, трансформируются в зрелые лизосомы, что является механизмом, предохраняющим клетку от чрезмерной активации аутофагии.

В последнее время основное внимание исследователей приковано к регуляции комплексом mTORC1 процессов метаболизма. Стимулирование роста и пролиферации киназным комплексом mTORC1 также требует перестройки клеточного метаболизма, обеспечивающего клетку необходимым количеством компонентов для построения новых клеточных мембран, нуклеотидов и т.д. Киназный комплекс mTORC1 регулирует активность транскрипционных факторов SREBPs, которые участвуют в регуляции ферментов метаболизма липидов и холестерина, а также активность ферментов гликолиза и пентозфосфатного пути. Результатом активации киназного комплекса mTORC1, которая напрямую зависит от наличия в среде или плазме крови ростовых факторов, АТФ, аминокислот и кислорода, является стимуляция белкового синтеза и роста наряду с ингибированием процессов катаболизма.

mTORC1 получает также сигналы при накоплении активных форм кислорода и повреждений в ДНК. Одним из медиаторов этой связи является белок-супрессор

оухолевого роста p53. Белок p53 в условиях генотоксического и окислительного стресса активирует транскрипцию генов *PTEN*, *TSC2* и *Redd1*, которые, как установлено ранее, могут ингибировать активность mTORC1. С другой стороны, в результате активации белка p53 происходит взаимодействие туберин/гамартинового комплекса с комплексом, содержащим Сестрин-1, Сестрин-2 и киназу АМПК, в результате чего происходит инактивация mTORC1.

Абсолютное большинство опухолевых заболеваний характеризуется активацией сигнального пути PI3K/Akt/mTORC1. Спорадические мутации или нарушение регуляции этого сигнального каскада или опухолевого супрессора p53 – наиболее часто встречающиеся изменения при различных видах рака. При этом инактивация опухолевого супрессора p53 также приводит к активации киназного комплекса mTORC1.

Киназный комплекс mTORC1 активирует трансляцию специфических мРНК, кодирующих протоонкогенные белки, а также способствует сборке рибосом для удовлетворения повышенных биосинтетических требований опухолевых клеток. Помимо активации трансляции, активация биосинтетических метаболических путей обеспечивает повышенные запросы опухолевых клеток для синтеза клеточных мембран *de novo* и синтеза нуклеотидов. Активация киназного комплекса mTORC1 также приводит к ингибированию аутофагии, которая в определенных ситуациях может служить механизмом, ингибирующим развитие опухолей. Помимо влияния на рост опухолевых клеток, киназный комплекс mTORC1 может способствовать развитию стволовых клеток опухоли. Использование Рапамицина снижает количество клеток, инициирующих лейкемию, и ингибирует их способность к самообновлению и дифференцировке, таким образом ингибируя рост опухолей.

Роль киназного комплекса mTORC1 в регуляции старения была впервые выявлена с помощью РНК-интерференции против *let363/CeTor* в *Caenorhabditis elegans*. Ингибирование *Caenorhabditis elegans Tor (CeTor)* значительно увеличивало продолжительность жизни. Аналогично была показана роль Raptor – компонента киназного комплекса mTORC1 – в регуляции старения *Caenorhabditis elegans*. Мыши с инактивацией обоих аллелей *mTOR*, *raptor*, *rictor*, *mLST8* погибают на ранней стадии эмбрионального развития, тогда как мыши с инактивацией обоих аллелей *S6K*, с обоими гипоморфными аллелями mTOR, а также гетерозиготные по генам *Mtor^{+/-}*, *Mlst8^{+/-}* имеют увеличенную продолжительность жизни. Использование Рапамицина также увеличивает продолжительность жизни организмов от дрожжей до млекопитающих (Blagosklony, 2014). Такой же эффект в широком диапазоне организмов оказывает ограничение питания, которое приводит к ингибированию киназного комплекса mTORC1. Примечателен факт,

что введение рапамицина мышам начиная с возраста 600 дней увеличивает продолжительность жизни так же эффективно, как и при более раннем начале приема, увеличивая продолжительность жизни у самок на 18%, а у самцов на 10% (Harrison et al., 2009). Рапамицин также увеличивает продолжительность жизни у HER-2/neu мышей, склонных к развитию опухолей, подтверждая предположение, что ингибирование старения организма также замедляет процессы канцерогенеза (Anisimov et al., 2010). Тем не менее, недавнее исследование более 150 признаков, связанных со старением, показало, что несмотря на увеличение продолжительности жизни у мышей, Рапамицин крайне незначительно замедлял непосредственно процесс старения. Кроме того многие признаки старения одинаково изменялись Рапамицином как в молодых, так и в старых мышах, предполагая, что в данных случаях Рапамицин не оказывает ингибирующего действия непосредственно на процессы старения. Точные механизмы, с помощью которого ингибирование киназного комплекса mTORC1 приводит к увеличению продолжительности жизни, не известны, но они включают в себя изменение спектра трансляции мРНК, активацию аутофагии, повышение резистентности к стрессу, в частности, через активацию транскрипционного фактора Nrf-2, изменение митохондриальной активности, ингибирование воспаления, а также защитное действие на функцию стволовых клеток. Однако, использование Рапамицина в качестве геропротектора для людей, несмотря на его потенциал, вряд ли возможно, в связи с развитием побочных эффектов, включающих в себя гиперлипидемию, гипергликемию, анемию, стоматит, а также эффект иммуносупрессии.

В связи с тем, что сигнальный путь mTOR является одним из ключевых в регуляции клеточного метаболизма, белкового синтеза и пролиферации, в настоящее время активно разрабатываются его ингибиторы. Разработано множество производных Рапамицина (рапалоги – rapalogs) с улучшенными фармакокинетическими свойствами: эверолимус, ридафоролимус, темсиролимус, 32-дезоксо-Рапамицин, зотаролимус и др. Однако, за небольшими исключениями, рапалоги показали разочаровывающие результаты при лечении различных опухолевых заболеваний. В частности, вероятно вследствие того, что ингибирование киназного комплекса mTORC1 происходит не полностью, не наблюдается ингибирования киназного комплекса mTORC2 и имеет место компенсаторная активация различных метболических (аутофагия) или сигнальных (Akt, MAPK, NF- κ B и др.) путей.

Лекарственные средства, такие как метформин и фенформин, приводящие к снижению респираторной активности митохондрий и уровня АТФ, также приводят к

ингибированию активности киназного комплекса mTORC1, в частности, через активацию киназы AMPK. Метформин, широко используемый для лечения диабета второго типа, также увеличивает продолжительность жизни мышей, и его использование ассоциировано со сниженной вероятностью развития опухолевых заболеваний у людей (Anisimov, 2010, 2013).

Ведущими зарубежными специалистами и учреждениями по изучению роли сигнальной роли mTOR в старении и раке, геропротекторного и антиканцерогенного действия рапамицина являются:

- Cell Stress Biology, Roswell Park Cancer Institute, Buffalo, MD, USA; Blagosklonny M.V.)
- Division of Medical Oncology, Duke University Medical Center, Durham, NC, USA; (Harrison D.E.)
- Whitehead Institute for Biomedical Res., Cambridge, MA, 02142, USA; (Sabatini D.M.)

В России исследования эффектов рапамицина выполняются в:

- НИИ онкологии им. Н.Н.Петрова МЗ РФ, Санкт-Петербург (Анисимов В.Н.)
- Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург (В.А. Поспелов)
- Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск (Н.Г. Колосова)

7.4.4 Световой десинхроноз, старение и рак

В связи со стратегическим значением для России освоения Севера и Арктического региона, одной из важнейших задач становится медицинское обеспечение здоровья работающего и проживающего в этих регионах населения. Среди неблагоприятных для здоровья факторов окружающей среды следует указать на особенности светового режима этого региона, который характеризуется продолжительной «белой» ночью и полярной ночью со значительным искусственным освещением. Воздействие света в ночное время (световое загрязнение) увеличилось и стало существенной частью современного образа жизни, сопровождаясь множеством серьезных расстройств поведения и состояния здоровья, включая преждевременное старение, сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, сахарный диабет и рак.

В ряде эпидемиологических исследований установлено, что воздействие света ночью, приводящее к подавлению ночного пика гормона эпифиза мелатонина, приводит к ановуляции, развитию метаболического синдрома и увеличению риска возникновения злокачественных новообразований. В частности, установлено увеличение риска рака молочной железы и рака толстой кишки среди женщин, которые часто работали по ночам (IARC, 2010). Исследования, проведенные в Финляндии и Исландии, показали, что у

стюардесс в 2-4 раза возрастает как суммарная частота рака, так и частота рака молочных желез (IARC, 2010). Известно, что в высоких широтах в весенне-летние месяцы года световой день значительно увеличен («белые ночи»), тогда как в осенне-зимний период, характеризующийся значительной длительностью темного времени суток («полярная ночь»), население подвержено избыточному искусственному освещению. Все это создает ситуацию, которая отмечена выше у работающих по ночам или страдающих бессонницей. У медицинских сестер, часто работающих по ночам и имеющих стаж более 6 лет, выявлено также увеличение риска инфарктов миокарда и инсультов. Изучение последствий хронической экспозиции к постоянному освещению и разработка мер предупреждения связанной с таким воздействием патологии, включая ановуляцию и риск рака, является весьма актуальной задачей.

Ведущими специалистами по эпидемиологическим аспектам проблемы являются:

R. Stevens, Department of Community Medicine, University of Connecticut Health Center, Farmington, CT, USA;

E. Pukkala, Medical School, Department of Clinical Chemistry, University of Tampere, Tampere University Hospital, Tampere 33014, Finland.

Ведущие специалисты-экспериментаторы:

D. Blask, Laboratory of Chrono-Neuroendocrine Oncology, Tulane University School of Medicine, New Orleans, Louisiana, USA;

C. Bartsch, Center for Research in Medical and Natural Sciences, University of Tübingen, Tübingen, Germany.

Первые в мире исследования промотирующей роли круглосуточного освещения на развитие новообразований у лабораторных животных были выполнены в середине 60-х годов XX века И.О. Смирновой (ОНЦ АМН СССР, Москва) и И.К. Хаецким (Институт проблем онкологии АН УССР, Киев). В 1993-2001 г.г. нами в совместных опытах с Д.Ш. Бениашвили (ОНЦ Минздрава Грузии) было показано, что содержание крыс в условиях круглосуточного освещения стимулирует канцерогенез молочных желез и трансплацентарный канцерогенез, индуцируемый N-нитрозометилмочевинной, тогда как содержание в темноте тормозит развитие опухолей. Затем в опытах на мышах разных линий, включая трансгенных, и крысах нами в сотрудничестве с Петрозаводским государственным университетом (проф. И.А.Виноградова), Институтом биологии КарНЦ УроРАН (проф. В.А. Илюха); Институтом физиологии института Институтом физиологии КомиНЦ УрО РАН д.б.н. М.Ф. Борисенковым (Сыктывкар), было показано, что постоянное освещение и содержание животных в условиях естественного режима освещения Северо-Запада России стимулирует старение и развитие опухолей. На

основании ограниченных доказательств канцерогенности для человека сменной работы, включающей ночную работу, и достаточных доказательств канцерогенности света в течение ночного периода суток (биологической ночи) у экспериментальных животных, полученных в отделе канцерогенеза и онкогеронтологии НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова, рабочая группа Международного агентства по изучению рака (Лион, Франция) пришла к заключению, что сменная работа, приводящая к нарушению циркадианных ритмов, возможно канцерогенна для человека (группа 2А) (IARC, 2010).

Перспективным направлением дальнейших исследований может быть изучение механизмов влияния различных световых режимов на старении, продолжительность жизни и развитие рака, у крыс, содержащихся при стандартном режиме освещения, естественном освещении или постоянном освещении, начатым в разные сезоны и разным возрасте. В уже проведенных нами опытах на мышах было подтверждено предположение о том, что мелатонин может нейтрализовать вредное действие постоянного освещения. Представляется целесообразным изучить этот эффект мелатонина в опытах на мышах разных линий и крысах. В клинических наблюдениях показано, что применение мелатонина существенно увеличивает безрецидивный период у больных колоректальным раком и раком желудка (Ермаченков и др., 2012). Представляется весьма перспективным исследование эффективности применения мелатонина в качестве адьювантной терапии при других локализациях рака.

7.4.5 Продолжительность жизни у представителей различных творческих профессий

Известно, что в значительной мере темп старения и продолжительность жизни человека определяются социально-экономическими условиями и образом жизни, а тогда как генетические факторы играют важную, но существенно меньшую роль (Fitzpatrick, 2001; Анисимов, 2008). В последние годы все больший интерес привлекают данные о признаках ускоренного старения у представителей самых разных профессий, например у водителей грузового автотранспорта, моряков дальнего плавания, участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (см. Анисимов. 2010; Башкирева. 2004; Fitzpatrick, 2001). С другой стороны, имеются данные о большей продолжительности жизни у людей с высоким социально-экономическим статусом, в частности у лауреатов Нобелевской премии, членов национальных академий наук, известных писателей, музыкантов и актеров (Анисимов, Михальский, 2004; Andreev et al., 2011). В серии работ Г.М. Жариновым и В.Н. Анисимовым выявлены существенные различия в среднем возрасте смерти и долголетьи представителей различных творческих

специальностей (литераторов, музыкантов, художников, артистов, ученых) (Анисимов, Жаринов. 2013; Жаринов, Анисимов, 2014). Разработана и собрана база данных, включающая сведения о датах рождения и смерти и, причинах смерти (при наличии таковых) о более 120000 человек. Полученные предварительные данные свидетельствуют о том, что высокий интеллект и образование способствуют большей продолжительности жизни и долголетию.

Оцениваемый по психометрическим тестам биологический возраст 70-летних шведов, рожденных в 1922 г., был достоверно меньшим по сравнению с таковым у 70-летних, рожденных в 1906/1907 гг., что соответствовало более высокому уровню образования (Steen et al., 1998). Доказано, что умные живут дольше и меньше болеют. Так, чем выше уровень интеллекта у ребенка, тем больше шансов у него прожить дольше. Установлено, что мозг без нагрузки стареет гораздо быстрее. Ожидаемая продолжительность жизни лиц, окончивших колледж на 6 лет дольше, чем у не имеющих высшего образования (Schulz-Aellen, 1997). Неудивительно, что имеется существенная взаимосвязь уровня коэффициента интеллекта IQ (intelligence quotient) и состояния здоровья человека (Kanazawa 2008). IQ определяет поведение человека, которое зачастую служит причиной разных заболеваний. Люди с высоким уровнем IQ бросали курить чаще, чем те, у которых умственные способности были ниже среднего. Однако на Окинаве 18% столетних мужчин и 42% женщин никогда не посещали школу; это свидетельствует о том, что высокий уровень образования - не универсальный фактор, способствующий долголетию во всех регионах (Willcox et al., 2009). Важно отметить, что IQ влияет на продолжительность жизни вне зависимости от социальных факторов. Различия в показателях продолжительности жизни между учеными разных специальностей могут быть обусловлены как уровнем жизни (образование у экономистов и «чистых» математиков одинаковое, но уровень доходов у первых может быть существенно выше), так и особенностями их профессиональной деятельности (например, профессиональные вредности) и, возможно, в уровне интеллекта. Этот вопрос требует специального изучения. Недавно было показано, что у лиц с высоким уровнем образования теломеры (конечные участки хромосомы) длиннее, чем у малообразованных (Lager et al., 2009; Adler et al. 2013; Robertson et al., 2013).

Имеющиеся в литературе данные позволяют предположить, что интенсивный научный труд способствует увеличению продолжительности жизни и долголетию. Огромный объем созданной базы данных о продолжительности жизни лиц разных творческих профессий требует углубленного анализа материала с привлечением математиков, генетиков, физиологов и психологов. В зарубежной литературе встречаются

отдельные исследования подобного рода, однако объем выборок в них несравнимо меньший, что позволяет полагать, что дальнейшие исследования в этом направлении могут дать высокоприоритетные результаты, превышающие мировой уровень.

Ведущими зарубежными учреждениями по проблемам демографических аспектов старения являются: Институт демографических исследований общества Макса Планка, Росток, Германия (J. Vaupel; В.М. Школьников); Центр демографических исследований, Университет Дюка, Дурэм, Сев. Каролина, США (А.И.Яшин)

В России работы на международном уровне по этой проблеме выполняются в: Высшей школе экономики, Москва (А.Г. Вишневский, Е.М. Андреев); Институте проблем управления РАН (А.И. Михальский, В.Н.Новосельцев); Санкт-Петербургском экономико-математическом институте РАН (Г.Л. Сафарова).

Список библиографических источников

1. Анисимов В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения: В 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп.- СПб.: Наука, 2008. – Т.1.- 481 с.; – Т.2.- 434 с.
2. Анисимов В.Н. Синдром ускоренного старения при воздействии канцерогенных факторов окружающей среды // Рос. физиол. журн. 2010. Т. 96. С. 817–833.
3. Анисимов В.Н., Виноградова И.А., Букалев А.В. и др. Световой десинхроноз и риск злокачественных новообразований у человека: состояние проблемы // Вопр. онкол. 2013. Т.59. № 3. С. 302-313.
4. Анисимов В.Н., Виноградова И.А., Букалев А.В. и др. Световой десинхроноз и риск злокачественных новообразований у лабораторных животных: состояние проблемы // Вопр. онкол. 2014. Т. 60. № 2. С. 15-27.
5. Анисимов В.Н., Г.М. Жаринов Г.М. Продолжительность жизни и долгожительство у представителей творческих профессий // Успехи геронтол. 2013. Т. 26. № 3. С. 405-
6. Анисимов В.Н., Жаринов Г.М. Продолжительность жизни ученых различных специальностей // Природа, 2014, № 5. С. 48-53.
7. Берштейн Л.М. Антидиабетический бигуанид метформин и онкологическая заболеваемость // Сахарный диабет. - 2011.- № 3.- С. 45-48.
8. Жаринов Г.М., Анисимов В.Н. Музыка и долголетие // Успехи геронтол. 2014.Т.20. №2. С.284-290.
9. Пархитько А. А., Фаорова О. О., Анисимов В. Н., Хенске Э. П. Киназа mTOR: регуляция, роль в поддержании клеточного гомеостаза, развитии опухолей и старении // Биохимия. 2014. Т.79,№ 2. С.128-143.

10. Andreev E. M., Jdanov D., Shkolnikov V. M., Leon D. A. Long-term trends in the longevity of scientific elites: evidence from the British and the Russian academies of science // *Popul. Stud. (Camb)*. 2011. Vol. 65. P. 319–334.
11. Adler N., Pantell M.S., O'Donovan A. et al. Educational attainment and late life telomere length in the Health, Aging and Body Composition Study // *Brain Behav. Immunol.* 2013. Vol. 27. P. 15–21.
12. Anisimov V.N., Bartke A. The key role of growth hormone – insulin – IGF-1 signaling in aging and cancer // *Critical Rev. Oncology/Hematology*, 2013. Vol. 87(3). P. 201-223.
13. Anisimov V.N., Popovich I.G. Zabezhinski M.A. Methods of testing pharmacological drugs effects on aging and life-span in mice // In: *Biological Aging: Methods and Protocols*. 2nd ed. / Ed. by T.O. Tollefsbol (Methods in Mol.Biol.; Vol. 1048). Totowa, NJ: Humana Press, 2013. P. 145-160.
14. Anisimov V.N., Vinogradova I.A., Panchenko A.V. et al. Light-at-night-induced circadian disruption, cancer, and aging // *Current Aging Science*, 2012, Vol. 5. No.3. P. 170-177.
15. Anisimov V.N., Zabezhinski M.A., Popovich I.G. et al., Rapamycin extends maximal life span in cancer-prone mice // *Am. J. Pathol.*, 2010. Vol. 176. № 5. P. 1092-2096.
16. Anisimov V.N., Zabezhinski M.A., Popovich I.G. et al, Rapamycin increases lifespan and inhibits spontaneous tumorigenesis in inbred female mice // *Cell Cycle*, 2011. Vol. 10, No. 24, 4230-4236.
17. Anisimov V.N., Zabezhinski M.A., Popovich I.G. et al. Rodent models for the preclinical evaluation of drugs suitable for pharmacological intervention in aging // *Expert Opinion Drug Discovery*. 2012. Vol.7, No.1. P. 85-95.
18. Bartsch C. **Light-at-night, cancer and aging** // *Aging (Albany NY)*. 2010. Vol.2.P.76-77.
19. Blagosklonny M.V. Koschei the immortal and anti-aging drugs // *Cell Death and Disease*. 2014. Vol.5. e.:doi: 10.1038/cddis.2014.520.
20. Dilman V.M., Anisimov V.N. Effect of treatment with phenoformin, diphenylhydantoin or L-DOPA on life span and tumor incidence in C3H/Sn mice // *Gerontology*.- 1980.- Vol. 26.- P. 241-245.
21. Fitzpatrick R. Social status and mortality // *Ann. intern. Med.* 2001. Vol. 134. P. 1001–1019.
22. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 9. Painting, Firefighting, and Shiftwork. Lyon: IARC. 2010.
23. Kanazawa S. IQ and the health of states // *Biodemography Soc. Biol.* 2008. Vol. 54. P. 200–213.

24. Lager A., Bremberg S., Vågerö D. The association of early IQ and education with mortality: 65 year longitudinal study in Malmö, Sweden // *Brit. med. J.* 2009. Vol. 339. P. b5282.
25. Martin-Castillo B, Vazquez-Martin A, Oliveras-Ferraro C, Menendez JA. Metformin and cancer. Doses, mechanisms and the dandelion and hormetic phenomena // *Cell Cycle.* 2010.- Vol. 9.-P. 1057-1064.
26. Miller R.A., Harrison D.E., Astle C.M. et al. An Aging Intervention Testin Program: stuffy besign and interim report // *Aging Cell.* 2007. Vol. 6. P. 565-575.
27. Popovich I.G., Anisimov V.N., Zabezhinski M.A. et al. Lifespan extension and cancer prevention in HER-2/neu transgenic mice treated with low intermittent doses of rapamycin // *Cancer Biol. Ther.* 2014. Vol. 15, №5. P.586-592.
28. Robertson T.,Batty G.D., Der G. et al. Is socaleconomic status associated with biological aging as measured by telomere length?// *Epidemiol. Rev.* 2013. Vol. 35. P. 98-111.
29. Schulz-Aellen M.-F. *Aging and Human Longevity.* - Boston: Birkhauser,1997. - 283 p.
30. Sonntag W.E., Lynch C.D., Cefalu W.T. et al.
31. Ingram R.L., Bennett S.A., Thornton P.L., Khan A.S. Pleiotropic effects of growth hormone and insulin-like growth factor (IGF)-1 on biological aging: inferences from moderate caloric-restricted animals // *J. Gerontol. Biol. Sci.* 1999.- Vol. 54A.-P. B521-B538.
32. Spindler SR. Review of the literature and suggestion for the design of rodent survival studies for the identification of compounds that increase health and life span. *AGE*, doi10.1007/s11357-011-224-6.
33. Steen G., Berg S., Steen B. Cognitive function in 70-year-old men and women. A 16-year cohort difference population study // *Aging (Milano).* 1998. Vol. 10. P. 120–126.

7.5 «Стресс»

Развитие фундаментальных научных исследований - одна из наиболее актуальных задач, стоящих перед Россией в настоящее время. Анализ тенденций развития фундаментальной науки в мире в области биологии и медицины убедительно свидетельствует о том, что проблема «Стресс» остается в центре внимания мировой науки и привлекает к себе неослабевающий интерес в различных аспектах. Цель работы – определение наиболее перспективных направлений научных исследований по проблеме «Стресс», которые проводятся в мире и в Санкт-Петербурге, и выбор стратегии для их дальнейшего развития в научно-исследовательских учреждениях нашего города. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что к наиболее активно развивающимся и перспективным направлениям развития научных исследований по проблеме «Стресс», относятся: Нейроэндокринная регуляция стресса, Стресс и эндокринные системы, Стресс, репродукция и развитие организма, Стресс и метаболизм, Стресс и иммунная система, Стресс и висцеральные функции, Стресс и сенсорные системы, Стресс и боль, Стресс и поведение, Генетические аспекты стресса (как самостоятельные, так и включенные в различные направления), Стресс и фармакотерапия. Доминирующим в большинстве направлений этих исследований является патогенетический аспект, направленный на выяснение механизмов широко распространенных патологических влияний стресса на организм. Неоправданно мало внимания уделяется исследованиям, направленным на защиту представления о стрессе как изначально защитной, физиологической, реакции организма. Предполагается, что перспективной стратегией, объединяющей разнообразные направления исследований по проблеме «Стресс» в нашем городе, может быть стратегия, направленная на выяснения механизмов трансформации исходно физиологических, защитных, влияний стресса на организм в патологические последствия. Направляющая в исследовании проблемы стресса «от стресса как источника здоровья к стрессу как причине болезни» - это путь к выяснению механизмов трансформации позитивных, физиологических, эффектов стресса в негативные, патогенетические, последствия и поиску подходов для предотвращения такой трансформации. Областью применения результатов, полученных в таких исследованиях, является социальная сфера и здравоохранение.

Востребованными остаются исследования, направленные на защиту представления о стрессе как изначально защитной, физиологической, реакции организма. Знания о механизмах физиологических эффектов стресса – основа для выяснения механизмов трансформации физиологических влияний стресса в патологические последствия. Такие

исследования могут стать перспективными для Санкт-Петербурга и могут объединить исследователей из разных областей науки.

Применение результатов, полученных при исследовании проблемы «Стресс», не должно ограничиваться только сферой «Здравоохранение». Использование результатов в «Социальной сфере» подразумевает, прежде всего, распространение знаний о стрессе среди населения. Несмотря на доминирование в обществе негативного отношения к стрессу, важно осознавать, что, изначально стресс – это адаптивная реакция организма, позволяющая ему противостоять различным воздействиям. Нередко звучащему лозунгу «Стресс – убийца № 1 современного мира» уместно противопоставить слова основателя концепции о стрессе Ганса Селье: «Стресс – это соль жизни. Полное устранение стресса ... было бы равносильно смерти». Стресс является чрезвычайно важной физиологической реакцией, необходимой для поддержания здоровья. С помощью стрессорной реакции происходит скоординированная мобилизация защитных сил организма, благодаря которой он благополучно проходит через предъявляемое ему испытание и, более того, может выходить из него с повышенными адаптивными возможностями.

О значимости стресса для поддержания здоровья свидетельствует тот факт, что нарушение нормального протекания стрессорной реакции при искусственном исключении из функционирования ключевой гормональной оси стресса - гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной системы (ГГАКС) - приводит к пагубным последствиям для организма. В настоящем обзоре, в его первой части, мы демонстрируем это на примере результатов экспериментальных исследований, связанных с такой распространенной патологией при стрессе как язвообразование в желудке. Анализ результатов, приведенный в первой части обзора, нацелен главным образом на то, чтобы показать, что предлагаемая стратегия «от стресса как источника здоровья к стрессу как причине болезни» уже прошла определенные успешные испытания [1-27], что позволяет надеяться на ее успешное развитие и в отношении других направлений исследуемой проблемы.

Во второй части обзора представлены результаты анализа по выявлению наиболее перспективных направлений развития научных исследований по проблеме «Стресс», которые проводятся в мире и в Санкт-Петербурге и могут успешно развиваться в научных учреждениях нашего города.

7.5.1 От стресса как источника здоровья к стрессу как причине болезни

Согласно последнему определению Ганса Селье “стресс есть неспецифический ответ организма на любое предъявляемое ему требование”. Определение понятия стресс менялось со временем, но оставалось понимание того, что агенты, различающиеся по

природе, вызывают подобный (хотя и не одинаковый) нейроэндокринный ответ, который заключается в повышенной секреции гипофизом адренокортикотропного гормона (АКТГ), приводящего к увеличенной продукции глюкокортикоидных гормонов корой надпочечников [4].

Лучшим признанием открытия Ганса Селье является то факт, что многие из современных аспектов изучения проблемы «Стресс» связаны с ключевой гормональной осью стрессорной реакции - ГГАКС. Развитие этой области исследований свидетельствует и о воплощении в реальность прозорливого предположения Селье о существовании гипоталамического кортикотропин-рилизинг фактора (КРФ) - «первого медиатора стресса» [4].

Как это ни удивительно, но после нескольких десятилетий интенсивных исследований проблема «Стресс» продолжает таить в себе возможности для новых открытий, для развенчания устоявшихся в научном обществе догм. Согласно одной из догм глюкокортикоидные гормоны, продуцирующиеся при стрессорной активации ГГАКС, оказывают ulcerогенное влияние на слизистую оболочку желудка. В настоящем обзоре проанализированы полученные в наших исследованиях данные, не поддерживающие эту догму и свидетельствующие о гастропротективном действии продуцирующихся при стрессе глюкокортикоидных гормонов [1-27].

Язвенная болезнь желудка, которая остается широко распространенной патологией, рассматривается как “болезнь стресса”. Ганс Селье объединил активацию коры надпочечников и язвы желудка (наряду с инволюцией тимико-лимфатического аппарата), возникающие при действии чрезвычайных стрессоров, в триаду, характеризующую общий адаптационный синдром, и этим привлек внимание к вопросу об их взаимоотношении. С самого начала внимание исследователей было сосредоточено на идее о том, что глюкокортикоидные гормоны, продуцирующиеся при стрессорной активации ГГАКС, являются причиной язвообразования в желудке. Как следствие в течение нескольких десятилетий существовала догма об ulcerогенном действии глюкокортикоидных гормонов, продуцирующихся при стрессе. Основой этой догмы, главным образом, являлась безосновательная, на наш взгляд, экстраполяция выявленных в клинике, а затем и в эксперименте ulcerогенных свойств экзогенных глюкокортикоидных гормонов, используемых в фармакологических дозах, на эндогенные гормоны, продуцирующиеся при стрессе в большом количестве. Принимая во внимание адаптивную природу глюкокортикоидных гормонов, с самого начала мы исходили из предположения о том, что глюкокортикоидные гормоны, продуцирующиеся во время стресса, имеют адаптивное действие и в отношении слизистой оболочки желудка.

Для проверки этого предположения в экспериментах на крысах исследовали эффекты недостаточной стрессорной продукции глюкокортикоидных гормонов и последующей заместительной гормональной терапии, а также эффекты блокады глюкокортикоидных рецепторов на индуцированное стрессом язвообразование в желудке. Различные методические приемы были использованы для угнетения стрессорной продукции глюкокортикоидных гормонов а) разрушение паравентрикулярного ядра гипоталамуса для удаления главного источника КРФ-продуцирующих нейронов, принимающих участие в активации ГГАС; б) ингибирование синтеза КРФ в паравентрикулярном ядре гипоталамуса; в) иммунонейтрализация АКГГ; г) фармакологическая блокада ГГАС на уровне всех звеньев системы [1-27]. Все эти воздействия приводили к нарушению нормального протекания стрессорной реакции.

Согласно результатам, полученным в наших многочисленных исследованиях, в условиях дефицита глюкокортикоидных гормонов или предотвращения возможности их влияния во время стресса стрессорное язвообразование в желудке усугубляется [1-27]. Это, в свою очередь, означает, что действие глюкокортикоидных гормонов, выделяющихся во время острого стресса, направлено на поддержание целостности слизистой оболочки желудка. Было показано также, что недостаточная продукция глюкокортикоидных гормонов во время стресса приводит к тому, что неязвобенные в норме стрессорные воздействия становятся в этих условиях язвобенными [6]. Последний факт очень важен, поскольку он ярко свидетельствует о том, что гастропротекция глюкокортикоидными гормонами – это физиологический феномен. Весомым аргументом в пользу физиологической гастропротективной роли глюкокортикоидных гормонов, продуцирующихся при активации ГГАС, являются данные об участии глюкокортикоидных гормонов в реализации гастропротективного эффекта стрессорного прекодиционирования [15], а также гастропротективного действия КРФ [21, 22].

Мы выяснили, что гастропротективное действие глюкокортикоидных гормонов может быть связано с их затушевывающим влиянием на локальные патогенетические факторы и благотворным влиянием на локальные защитные факторы слизистой оболочки желудка [7, 10]. Глюкокортикоидные гормоны, продуцирующиеся при острой активации ГГАС, могут вносить вклад в поддержание целостности слизистой оболочки желудка посредством их влияния на звенья общего гомеостаза. Поддерживающее влияние глюкокортикоидов на артериальное давление, уровень глюкозы в крови, температуру тела может быть основой их благотворного действия на локальные факторы слизистой оболочки желудка [10, 12]. Из этого следует, что гастропротективное действие

глюкокортикоидов – неотъемлемая составляющая их общего адаптационного действия. Ярким проявлением адаптивной роли глюкокортикоидных гормонов являются данные, демонстрирующие способность глюкокортикоидных гормонов компенсировать отсутствие гастропротективного действия других важных защитных факторов: простагландинов, оксида азота и капсаицин-чувствительных афферентных нейронов [14].

Таким образом, приведенные результаты поддерживают предположение о гастропротективной природе глюкокортикоидных гормонов, продуцирующихся во время острой стрессорной активации ГГАС [1-27]. Полученные данные свидетельствуют об изначально физиологической, гастропротективной, роли глюкокортикоидных гормонов, продуцирующихся при стрессе. Они являются наглядным подтверждением того, что нарушение нормального протекания стрессорной реакции при искусственном исключении из функционирования ключевой гормональной оси стресса - ГГАС приводит к пагубным последствиям для организма. Это, в свою очередь, свидетельствует о значимости стресса для поддержания здоровья.

Как важно осознавать, что стресс – это изначально адаптивная реакция организма, позволяющая ему противостоять различным воздействиям, так важно осознавать и то, что изначально действие глюкокортикоидных гормонов, даже продуцирующихся при стрессе, является физиологическим гастропротективным. Подобно тому, как исходно физиологическая стрессорная реакция может трансформироваться в патологические последствия, изначально гастропротективное действие глюкокортикоидов при определенных условиях может трансформироваться в ульцерогенное. На наш взгляд, залогом успеха в исследовании патогенетических механизмов стресса может быть подход, основанный на выяснении физиологических эффектов стресса и последующем изучении механизмов их трансформации в патологические последствия. Исследовав исходно физиологическую гастропротективную роль глюкокортикоидных гормонов, мы поставили следующий вопрос о механизмах трансформации гастропротективного действия глюкокортикоидных гормонов в ульцерогенное и в настоящее время занимаемся его исследованием [3, 16, 17, 25, 27].

7.5.2 Наиболее перспективные направления развития научных исследований по проблеме «Стресс»

Актуальным направлением исследований проблемы «Стресс» является изучение механизмов формирования толерантности к стрессу и компенсации его патологических последствий. Интерес представляет выявление как универсальных механизмов адаптации и реабилитации, так и специфических, либо повышающих адаптивные возможности

организма в условиях последующего стресса, либо важных для реабилитации организма, перенесшего воздействие патогенного стресса. Стрессорное прекондиционирование и гипоксическое пре- и посткондиционирование рассматриваются в качестве эффективных способов повышения адаптивных возможностей организма и способов коррекции патологических последствий стресса.

Оправданно большое внимание исследователей привлекает вопрос о влиянии неблагоприятных воздействий на мать во время беременности и/или лактации, вызывающих напряжение (стресс) защитных механизмов самой матери и ее потомков. «Материнский стресс», вызванный психоэмоциональными факторами, гипоксией, а также нарушением системы питания, рассматривается в настоящее время в качестве фактора риска развития у потомков различных заболеваний, таких как сердечно-сосудистая патология, метаболический синдром и сахарный диабет 2-го типа, нарушения в когнитивной сфере, депрессивно-тревожные расстройства. Действие стрессорных факторов в пренатальный период приводит к отставленным во времени структурно-функциональным изменениям мозга, задержке развития и снижению способности к обучению. У пренатально стрессированных крыс в условиях социального стресса выявлены изменения в активности ГГАС и способности к адаптации, а также взаимосвязь между повышенной стрессорной реактивностью этих животных и их депрессивно-тревожным состоянием. Проводится поиск путей коррекции последствий стресса, в том числе и пренатального, с применением фармакологических подходов.

Одним из проявлений стрессорной реакции является изменение болевой чувствительности. Стресс может приводить как к угнетению болевой чувствительности (аналгезии), так и ее усилению (гипералгезии). Изучение естественных для организма опиоидных и, особенно, неопиоидных механизмов угнетения болевой чувствительности, проявляющихся в условиях острого стресса, - путь к развитию новых способов борьбы с болью. Показано, что гормоны всех звеньев ГГАС (КРФ, АКТГ и глюкокортикоидные гормоны) принимают участие в обеспечении неопиоидных механизмов угнетения болевой чувствительности. В то же время наблюдающийся в последнее время рост хронических стресс-вызванных заболеваний (синдром хронической усталости, фибромиалгия, синдром хронической головной боли, синдром раздраженной кишки), сопровождающихся хроническими болями, свидетельствует о необходимости изучения механизмов регуляции болевой чувствительности в условиях не только острого, но и хронического стресса. Развитие хронических болевых синдромов сопровождается дисфункцией ГГАС. Понимание роли ГГАС в механизмах трансформации анальгетического эффекта острого

стресса в гипералгетический эффект хронического стресса может быть важным подходом к поиску способов предотвращения развития хронических болевых синдромов.

Вопрос о влиянии стресса на болевую чувствительность активно изучается и в онтогенетическом аспекте. Неонатальный стресс способствует отставленному развитию висцеральной гиперчувствительности, лежащей в основе патогенеза хронических абдоминальных болевых синдромов у взрослых. Полагают, что причиной этого являются вызванные стрессом нарушения в постнатальном развитии ГГКС с последующим нарушением регуляции КРФ-зависимых механизмов ноцицептивного контроля. Какие нейрональные механизмы обеспечивают висцеральную гипералгезию и особенности ее модуляции системой КРФ у неонатально стрессированных животных, планируется выяснить в дальнейших исследованиях. Долговременные последствия ранней боли выявлены не только в ноцицептивной системе, но и в ГГКС, а также в когнитивных процессах и в структурных нарушениях мозга. Влияние стресса на висцеральные функции не ограничивается исследованиями в онтогенетическом аспекте. Стрессорные воздействия могут вызывать нарушение хеморефлекторных механизмов регуляции дыхания. У стрессированных животных наблюдается ослабление вентиляторного ответа на гиперкапнию, важнейший стимул, участвующий в регуляции вентиляционной функции легких. Механизмы, посредством которых стресс влияет на гиперкапнический вентиляторный ответ исследуются в настоящее время. Актуальность этих исследований определяется тем, что нарушение хеморефлексов наблюдается при многих кардиореспираторных заболеваниях (хроническая обструктивная болезнь легких, сонное апноэ, сердечная недостаточность).

Стресс - один из ключевых факторов риска в развитии сердечно-сосудистых заболеваний. Клиницистами нашего города проводится исследование «эпидемиологии сердечно-сосудистых заболеваний в различных регионах России», в том числе, и в самом Санкт-Петербурге с учетом вклада стрессорных факторов в развитие этой патологии. К уникальным можно отнести проводимое в настоящее время исследование по оценке распространённости факторов риска и сердечно-сосудистых заболеваний во взрослом возрасте среди жителей Блокадного Ленинграда в зависимости от периода детства, в котором было перенесено голодание. (Ротарь и др, 2014].

Известно влияние стресса на углеводный обмен, в том числе на один из ключевых его этапов – всасывание глюкозы в тонкой кишке. Однако по-прежнему остаются дискуссионными многие вопросы, один из которых – вопрос об относительной роли различных механизмов транспорта глюкозы через апикальную мембрану энтероцита при стрессе.

Различные сенсорные стимулы («сенсорные стрессоры») - звуковые, обонятельные, вибрационные воздействуют на человека постоянно, вызывая всевозможные нарушения собственно сенсорных и когнитивных механизмов, связанных с восприятием и переработкой информации, сложных нейроэндокринных, кортико-висцеральных реакций. Визуальные информационные потоки оказывают непосредственное влияние на психологическое и физическое состояние человека, что может формировать стрессовые ситуации в жизни человека. Проблема «визуального стресса» является актуальным вопросом не только для формирования непосредственной среды обитания, но и ее виртуального отражения и исследуется в настоящее время. Стресс, характеризующийся резкими сдвигами гормонального баланса в организме млекопитающих, вызывает целый ряд изменений в клетках-мишенях на генетическом уровне (Даев, 2010; Никитина и др. 2014]. На модели ольфакторно индуцированного стресса изучаются цитогенетические изменения в клетках костного мозга и семенников, которые рассматриваются как звено механизма иммуносупрессии и угнетения репродукции, возникающих при стрессе. Вместе с тем, в этих же работах также выявлено и позитивное влияние некоторых ольфакторных воздействий, нейтрализующих действие дистрессора. (Даев, 2010]. Эти результаты могут быть положены в основу одного из исследований о трансформации исходно позитивного стрессорного эффекта в негативные последствия.

Дальнейшее изучение путей и механизмов возникновения стресс-индуцированных изменений на генетическом уровне в клетках-мишенях позволит более эффективно искать средства преодоления негативных последствий стресса.

Анализ публикаций по проблеме «Стресс» свидетельствует о том, что в Санкт-Петербурге проводятся исследования, результаты которых можно рассматривать как фундамент для будущей научно-исследовательской работы по проблеме «Стресс» в нашем городе. Сравнительный анализ публикаций зарубежных и российских исследователей позволяет сделать вывод о том, несмотря на наличие у некоторых российских исследователей публикаций в зарубежных журналах, в целом работа в Санкт-Петербурге по рассматриваемой проблеме могла бы развиваться успешнее. Залогом успеха может быть объединение усилий при исследовании проблемы «Стресс» по единой и востребованной стратегии.

Поскольку основной интерес научного сообщества в последние десятилетия главным образом сосредоточен на изучении механизмов широко распространенных патологических влияний стресса на организм, востребованными остаются исследования, направленные на защиту представления о стрессе как изначально защитной, физиологической, реакции организма. Знания о механизмах физиологических эффектов

стресса – основа для выяснения механизмов трансформации физиологических влияний стресса в патологические последствия. Направляющая в исследовании проблемы стресса (стратегия) «от стресса как источника здоровья к стрессу как причине болезни» - это путь к выяснению механизмов трансформации позитивных, физиологических, эффектов стресса в негативные, патогенетические, последствия и поиску подходов для предотвращения такой трансформации. Такие исследования могут стать перспективными для Санкт-Петербурга и могут объединить исследователей из разных областей науки.

Список библиографических источников

1. Филаретова Л. П. Стресс и язвообразование в желудке: гастропротективная роль глюкокортикоидных гормонов / Л. П. Филаретова // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова – 2009. – Т. 95. – № 10. – С. 1160 – 1170.
2. Филаретова Л. П. Стресс в физиологических исследованиях / Л. П. Филаретова // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2010. – Т.96. – № 9. – С. 924 – 935.
3. Филаретова Л. П. Трансформация физиологических гастропротективных эффектов глюкокортикоидных гормонов в патологические ulcerогенные последствия / Л. П. Филаретова, Т. Р. Багаева, О. Ю. Морозова, Т. Т. Подвигина // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2010. – Т. 96. – № 8. – С. 806-816.
4. Филаретова Л. П. Вклад глюкокортикоидных гормонов в гастропротекцию / Л. П. Филаретова // Успехи физиол. наук. – 2014. – Т. 45. – № 1. – С. 43 – 55.
5. Filaretova L. P. Corticosterone increase inhibits stress-induced gastric erosions in rats / L. P. Filaretova, A. A. Filaretoy, G. B. Makara // Am. J. Physiol. – 1998. – V. 274. – P. 1024-1030.
6. Filaretova L. Various ulcerogenic stimuli are potentiated by glucocorticoid deficiency in rats / L. Filaretova, T. Bagaeva, T. Podvigina, G. Makara / J. Physiol. (Paris). – 2001. – V. 95 – № 1-6. – P. 59 – 65.
7. Filaretova L. Mechanisms by which endogenous glucocorticoids protects against indomethacin-induced gastric injury in rats / L. Filaretova, A. Tanaka, T. Miyazawa et al. // Am. J. Physiol. – 2002. – V. 83 – P. 1082 – 1089.
8. Filaretova L. P. Aggravation of nonsteroidal anti-inflammatory drug gastropathy by glucocorticoid deficiency or blockade of glucocorticoid receptor in rats / L. P. Filaretova, T. R. Bagaeva, G. B. Makara. // Life Sci. – 2002. – V. 71. – № 21. – P. 2457 – 2468.
9. Filaretova L. Role of endogenous glucocorticoids in the healing of gastric erosions and chronic gastric ulcers in rats / L. Filaretova, T. Bagaeva, T. Podvigina // Inflammopharmacology. – 2002. – V. 10. – № 4-6. – P. 401-412.

10. Filaretova L. P. Mechanisms underlying the gastroprotective action of glucocorticoids released in response to ulcerogenic stress factors / L. P. Filaretova, T. T. Podvigina, T. R. Bagaeva et al. // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* – 2004. – V. 1018. – P. 288 – 292.
11. Filaretova L. P. The hypothalamic-pituitary-adrenocortical system: hormonal brain-gut interaction and gastroprotection / L. P. Filaretova // *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical.* – 2006. – V. 125. – № 1-2. – P. 86 – 93.
12. Filaretova L. Hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis: the hidden gold in gastric mucosal homeostasis / L. Filaretova, T. Podvigina, P. Bobryshev et al. // *Inflammopharmacology.* – 2006. – V. 14. – № 5-6. – P. 207-213.
13. Filaretova L. Gastroprotective role of glucocorticoid hormones / L. Filaretova, T. Podvigina, T. Bagaeva et al. // *J. Pharmacol. Sci.* – 2007. – V. 104. – № 3. – P. 195 – 201.
14. Filaretova L. Compensatory gastroprotective role of glucocorticoid hormones during inhibition of prostaglandin and nitric oxide production and desensitization of capsaicin-sensitive sensory neurons / L. Filaretova, P. Bobryshev, T. Bagaeva, T. Podvigina, K. Takeuchi // *Inflammopharmacology.* – 2007. – V. 5. – № 4. – P. 146 – 153.
15. Filaretova L. Contribution of glucocorticoids to protective influence of preconditioning mild stress against stress-induced gastric erosions / L. Filaretova, T. Bagaeva, K. Amagase, K. Takeuchi. // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* – 2008. – V. 1148. – P. 209-212.
16. Filaretova L. From gastroprotective to proulcerogenic action of glucocorticoids on the gastric mucosa / L. Filaretova, O. Morozova, T. Bagaeva, T. Podvigina // *J. Physiol. Pharmacol.* – 2009. – V. 60. – Suppl. 7. P. 79-86.
17. Filaretova L. Dual action of glucocorticoid hormones on the gastric mucosa: how the gastroprotective action can be transformed to the ulcerogenic one / L. Filaretova, T. Podvigina, T. Bagaeva, O. Morozova // *Inflammopharmacology.* – 2009. – V. 17. – № 1. – P. 15 – 22.
18. Zelena D. Age-dependent role of vasopressin in susceptibility of gastric mucosa to indomethacin-induced injury / D. Zelena, L. Filaretova // *Regul. Pept.* – 2010. – V. 161. – № 1-3. – P. 15 – 21
19. Filaretova L. Glucocorticoids are gastroprotective under physiological conditions / L. Filaretova // *Therap. Advances in Chronic Disease* – 2011. – V. 2. – № 5. – P. – 333 – 342.
20. Filaretova L. P. The healing of NSAID-induced gastric lesion may be followed by small intestinal and cardiovascular side effects / L. P. Filaretova, T. R. Bagaeva, O. Yu. Morozova, D. Zelena // *J. Physiol. Pharmacol.* – 2011. – V. 62. – № 6. – P. 619-625.

21. Filaretova L. Stress and the stomach: corticotropin-releasing factor may protect the gastric mucosa in stress through involvement of glucocorticoids / L. Filaretova, T. Bagaeva, O. Morozova // *Cell. Mol. Neurobiol.* – 2012. – V. 32. – № 5. – P. 829 – 836.
22. Filaretova L. P. Corticotropin-releasing factor may protect the gastric mucosa in stress through involvement of glucocorticoids / L. P. Filaretova, T. R. Bagaeva, O. Yu. Morozova, M. A. Myazina // Chapter in: Filaretova L.P., Takeuchi K (eds): *Cell / Tissue Injury and Cytoprotection / Organoprotection in the Gastrointestinal Tract: Mechanisms, Prevention and Treatment.* *Front. Gastrointest. Res. Basel, Karger* – 2012. – V. 30 – P. 124 – 133.
23. Filaretova L. Gastroprotective role of glucocorticoids during NSAID-induced gastropathy / L. Filaretova // *Current Pharmaceutical Design.* – 2013. – V. 19 – № 1. – P. 29 – 33 *zop.*
24. Filaretova L. Does chronic stress enhance the risk of diseases? / L. Filaretova, O. Morozova, F. Laszlo, E. Morschl, D. Zelena // *Endocrine Regulation.* – 2013. – V. 47 – P. 177 – 188.
25. Filaretova L. The surprising dual action of glucocorticoids / L. Filaretova, G. Makara // *Clinical Neuroscience.* – 2014. – V. 67 – № 3 – 4. – P. 121 – 123.
26. Filaretova L. P. A wider view on gastric erosion: detailed evaluation of complex somatic and behavioral changes in rats treated with indomethacin at gastric ulcerogenic dose / L. P. Filaretova, T. R. Bagaeva, O. Yu. Morozova, D. Zelena // *Endocrine Regulation.* – 2014. – V. 48. – P. 163 – 172.
27. Filaretova L. From gastroprotective to ulcerogenic effects of glucocorticoids: role of long-term glucocorticoid action / L. Filaretova, T. Podvigina, T. Bagaeva, O. Morozova // *Current Pharmaceutical Design.* – 2014. – V. 20. – № 7. – P. 1045 – 1050.
28. Daev E.V. Genetic Aspects of Stress Neuroendocrinology / E. V. Daev // In: *Neuroendocrinology Research Developments* (Eds. N. S. Penkava and L. R. Haight). Hauppauge, New York: Nova Science Publishers, Inc. – 2010. – P. 119-133.

7.6 Ядерная медицина

Ядерная физика, как всякая научная дисциплина, имеет две неразрывных стороны: фундаментальные исследования и приложения - без первого нет второго, а приложения в виде ядерных технологий, в свою очередь, определяют прогресс фундаментальных исследований. Хорошо известны такие прикладные аспекты ядерной физики как ядерное оружие, энергетика, радиоизотопные технологии и др. Без преувеличения можно сказать, что они изменили ход общественного развития. В последнее время во всем мире бурно развивается новое направление приложений ядерных технологий – ядерная медицина.

В её основе— использование радиоизотопных, реакторных или ускорительных методов для диагностики и лечения широкого круга заболеваний. Достоинствами ядерной медицины являются диагностика заболеваний на самой ранней стадии их развития и возможность доставки действующего агента непосредственно в область патологического процесса без повреждения окружающих тканей.

Термин «ядерная медицина» включает три основных направления использования ядерно-физических методов в медицине:

- адронная терапия, как развитие медицинской радиологии;
- медицинская радиография, как развитие рентгенологии;
- производство медицинских радиоизотопов для диагностики и терапии.

Естественно, такое разделение условно и определяется, в основном, техническими аспектами. В медицинском отношении ядерные методы получили наибольшее развитие в онкологии и диагностике. В этой высокотехнологичной области работают физики-ядерщики, радиохимики, биофизики, врачи-онкологи и радиологи, специалисты других областей знаний, в частности, специалисты по обработке изображений.

Исторически специфика использования ядерных технологий определяла расположение медицинских лабораторий вблизи центров ядерно-физических исследований. В этом отношении Санкт-Петербург и регион не являются исключением. Сочетание крупных институтов ядерного профиля, таких как Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова, НПО «Радиевый институт», и медицинских центров - ЦНИИ Онкологии им. Петрова, Рентгено-радиологического института, Института им. Поленова, создают объективную основу для развития ядерно-физических методов в медицине.

7.6.1 Адронная терапия

Основы адронной терапии были заложены пионером ускорительной техники Р.Вильсоном, опубликовавшим в 1946 г. в медицинском журнале *Radiology* статью о терапевтическом аспекте облучения опухолей протонами. В настоящее время основными инструментами в этом направлении являются ускоренные протоны, нейтроны и легкие ионы, из которых наиболее популярными оказались ядра углерода. Ведутся исследования по применению мезонов. Разные типы частиц обладают различными ионизационными свойствами и тем самым оказывают различное терапевтическое действие.

На рис. 7.1. представлен общий рост числа центров протонной терапии в мире за период с 1950 г. по 2015 г. В них за это время более 100 тысяч пациентов прошли облучение. География центров протонной терапии представлена на рис. 7.2. В частности, в России действуют три центра протонной терапии в Объединенном институте ядерных исследований, Дубна, в Институте теоретической и экспериментальной физики, Москва, и в Петербургском институте ядерной физики, Гатчина.

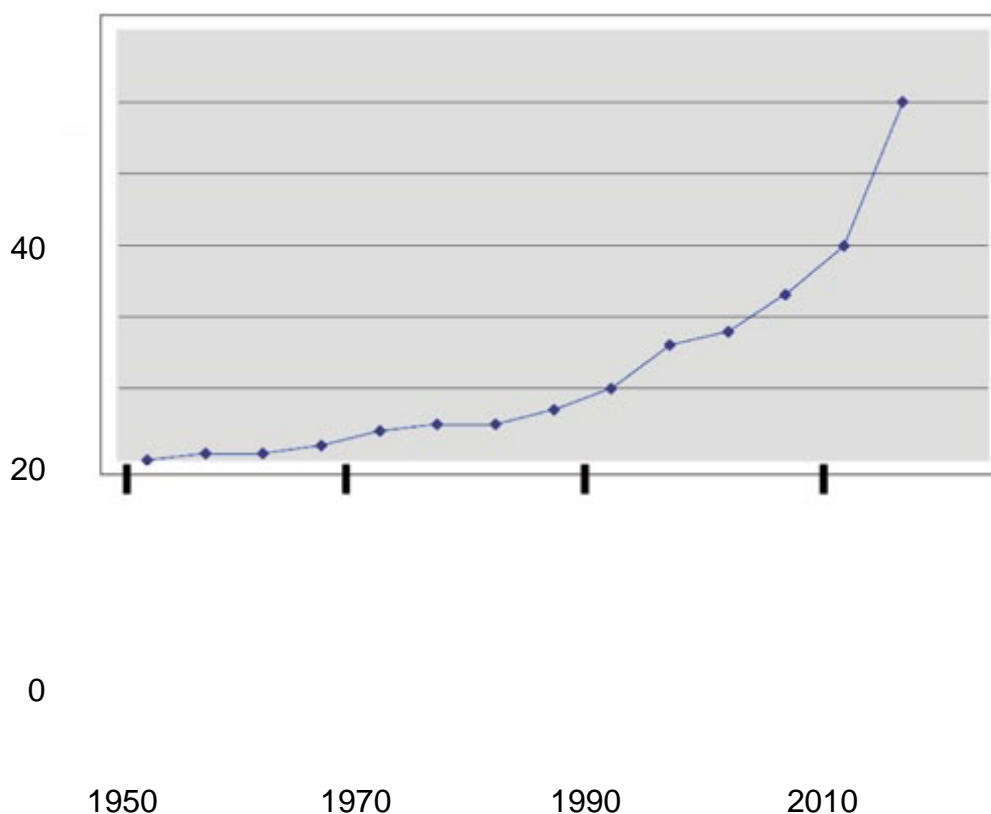


Рис. 7.1 – Количество центров протонной терапии в мире

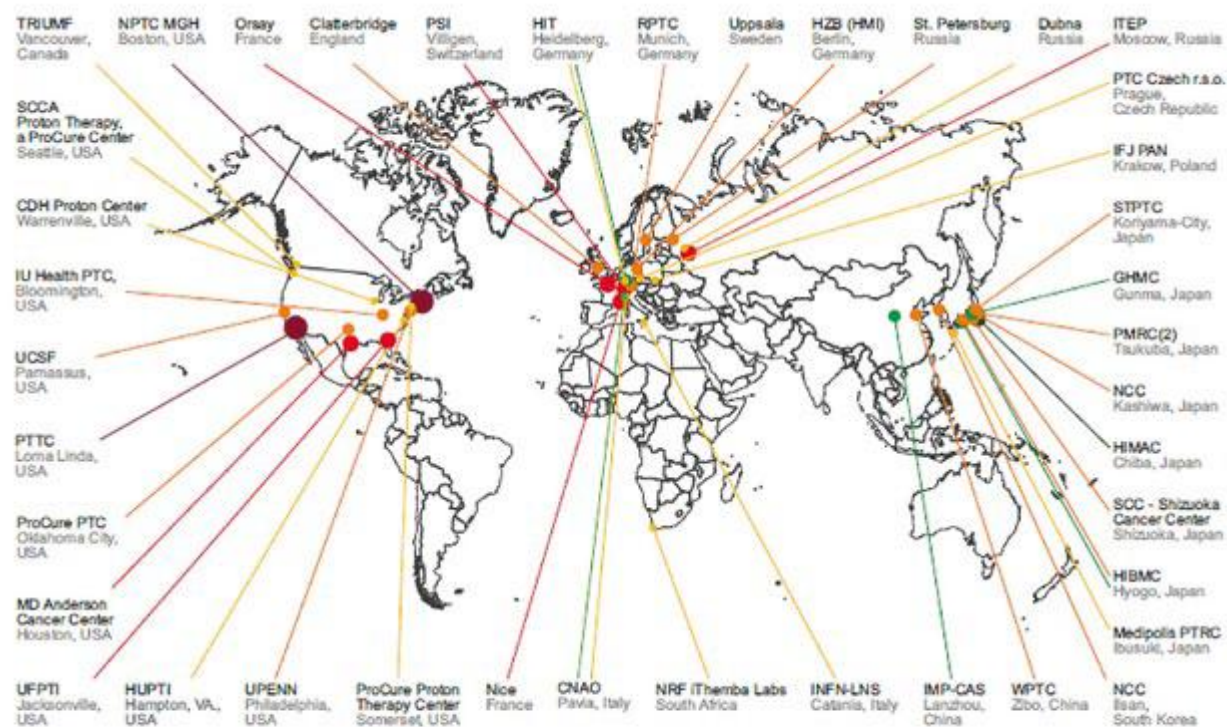


Рис.7.2 – Расположение медицинских центров, использующих протонные (красные точки) и тяжело-ионных (зеленые точки) пучки. Размер точек пропорционален количеству облученных пациентов

Успех применения протонной терапии основан на двух факторах: физическом - тонкая калибровка пучка по размерам и энергии и высокая точность попадания в область опухоли, и биологическом – выбор методики, в частности и типа частиц, основанный на воздействии ионизирующего излучения на биологические ткани. Здесь следует отметить две принципиально отличающихся методики облучения: метод полного поглощения и стереотаксический метод.

Первый метод основан на физическом явлении остановки заряженных частиц в узкой области, пик Брегга, где выделяется основная энергия. Энергия пучка и геометрические параметры расположения пациента определяются в этом методе совмещением опухоли с пиком Брегга. Часто первичный пучок разделяют на несколько пучков или поворачивают пучок вокруг пациента с помощью так называемой установки гантри (gantry). На рис. 7.3 показаны схема действия и общий вид такой установки в Институте им.М.Кюри, Франция. В этой методике используются пучки низких и средних энергий, от десятков до нескольких сотен МэВ.



Рис. 7.3 – Типы установок гантри (слева) и общий вид одной из них (справа) в Институте им.М.Кюри

Второй метод облучения основан на очень малых потерях высокоэнергичного пучка в биологических тканях в начале своей траектории. В этом случае пациент вращается вокруг центра, совмещенного с опухолью. Траектория вращения выбирается так, чтобы пучок, идущий «напролёт», многократно проходил через центр вращения и только один раз через остальные области. Это резко усиливает контраст облучения по сравнению с методикой полного поглощения и снижает травматические последствия облучения здоровых тканей. В этом случае используются пучки протонов высоких энергий, 1 ГэВ и выше. Отметим, что эта методика используется только в ПИЯФ. Она успешно себя зарекомендовала с 1975 г. при лечении патологий головного мозга. За это время облучение прошли более 1000 пациентов.

К адронной терапии относится и нейтрон-захватная терапия. Нейтроны не имеют заряда и свободно проникают вглубь биологических тканей. Сами по себе они обладают минимальным биофизическим воздействием. Однако захват тепловых нейтронов ядрами ^{10}B вызывает они экзотермическую ядерную реакцию с локальным выделением большой энергии. Следовательно, если создать в опухоли повышенную концентрацию бора, она будет подвержена повышенному радиационному воздействию при облучении нейтронами. Контраст этого воздействия по сравнению с окружающими здоровыми тканями будет определяться разницей концентрации бора в них. «Внедрить» препараты бора в опухоль, не насыщая им окружающие ткани – основная проблема этого вида адронной терапии.

Исследования и клиническая практика в области нейтрон-захватной терапии ведутся в Финляндии, Японии, Китае и Аргентине на базе соответствующих центров, оснащенных ядерными реакторами. Эта тематика заложена в научную программу реактора ПИК, создаваемого в ПИЯФ.

Кроме бора в качестве мишени для нейтронов может использоваться ^{157}Gd . В этом случае каждый акт захвата нейтрона будет сопровождаться большим выделением энергии – 7.94 МэВ против 2.79 МэВ для захвата на боре. Эта методика имеет свои особенности, выделяющие ее из множества подобных. В частности, гадолиний используется одновременно как агент для магнито-резонансных исследований. В ПИЯФ ведутся работы по инкапсулированию ядер гадолия внутри фуллереновых сфер, резко уменьшающих токсичность препарата.

Нейтронная терапия может вестись не только на реакторах, но и на пучках вторичных нейтронов, получаемых на ускорителях, что отражает общую тенденцию отказа от использования реакторов как источников нейтронов в фундаментальных и прикладных исследованиях.

7.6.2 Медицинская радиография

Эта область ядерной медицины связана с использованием «ядерных меток» для диагностики и специфической терапии. Она восходит к работам Д.Хевеши, получившего Нобелевскую премию за развитие метода радиоактивных меток в изучении кинетики сложных химических реакций. В первую очередь это направление связанное с гамма-эмиссионной и позитрон-эмиссионной томографией (ПЭТ).

Компьютерная томография в настоящее время является одной из наиболее широко используемых методик неинвазивной диагностики, которая позволяет строить трёхмерное изображение внутренних органов при рентгеновском сканировании. Основная проблема метода – довольно большая доза облучения для достижения требуемого разрешения.

После того как на циклотроне в Беркли, США, был открыт технеций, один из немногих элементов периодической системы не существующий в природе (он не имеет стабильных изотопов), начались исследования по использованию изомера $^{99\text{m}}\text{Tc}$ в диагностике. Этот изотоп распадается с испусканием гамма-кванта с энергией 140 кэВ. Такие гамма-кванты свободно выходят из живых тканей и эффективно регистрируются. Создание сканирующих детекторов и возможности компьютерного восстановления пространственного положения центров эмиссии положили начало развитию гамма-эмиссионной томографии.

Следующим шагом было использование другого изотопа с идеальными для медицины физическими свойствами – ^{18}F . Он распадается с периодом полураспада всего около двух часов, испуская позитрон, который, аннигилируя в свою очередь, рождает два гамма-кванта с энергией по 511 кэВ. Они и регистрируются томографом. Появление обоих этих видов томографии открыло новую эру «high-tech» в медицине. На рис. 7.4. приведены типичные «фотографии» мышцы, полученные с использованием разных методик.

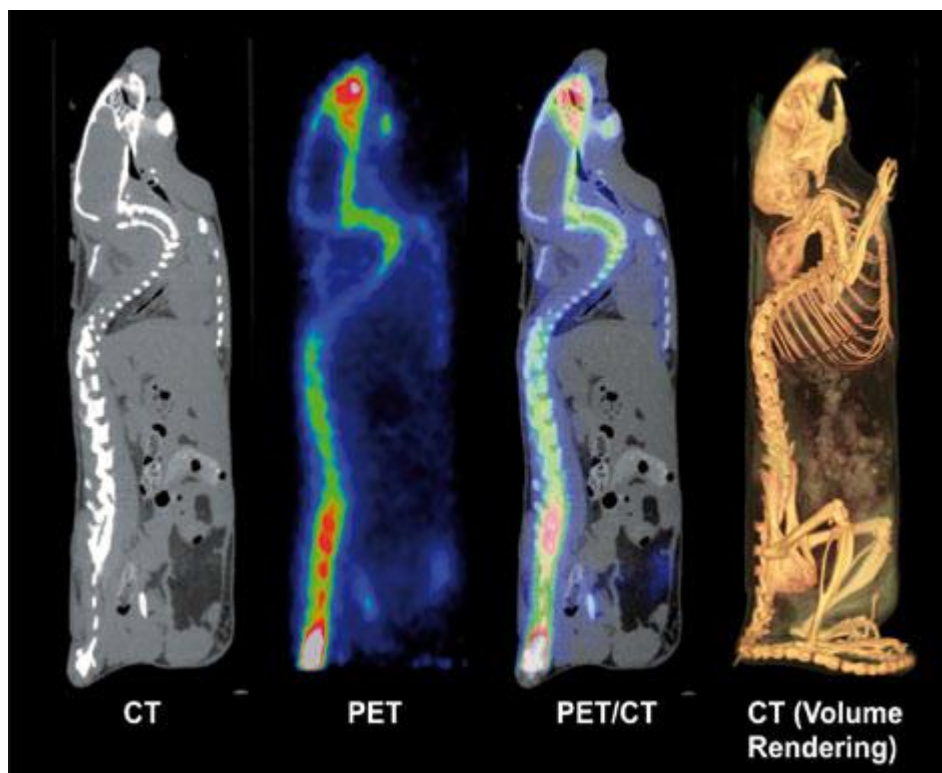


Рис. 7.4 – «Фотографии» мышцы (слева направо), полученные с использованием рентгеновской томографии (СТ), позитрон эмиссионной томографии (РЕТ), компьютерный синтез первого и второго (РЕТ/СТ) и восстановление объемного томографического изображения

Типичный ПЭТ сканер содержит несколько десятков тысяч маленьких сцинтилляционных детекторов, которые регистрируют гамма-кванты от позитронов, испущенных ядрами ^{18}F в теле пациента. Загрузка составляет до миллиона событий в секунду. Компьютер в режиме «on-line» создает трехмерную картину «поперечного среза» толщиной до 3 мм, которая записывается в память компьютера. Сканирование всего тела взрослого человека занимает до 15 минут.

Наконец, ведутся работы по синтезу обоих методов – гамма-ПЭТ. В этом подходе регистрируются совпадения гамма-квантов от аннигиляции позитрона и от разрядки возбужденного состояния дочернего ядра. Концепция гамма-ПЭТ позволяет использовать другие изотопы, повысить чувствительность и точность локализации источника, что, в конечном счете, снизит дозовую нагрузку на пациента.

Рассматриваются синтетические методы и в протонной терапии с привлечением сложных ядерных реакций и регистрацией возникающих излучений гамма-томографом. На рис. 7.5 представлена принципиальная схема процессов, используемых в таком методе.

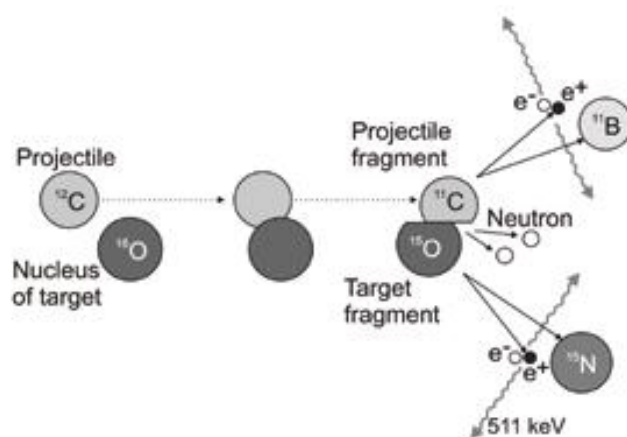


Рис. 7.5 – Принцип ПЭТ при облучении ионами ^{12}C тканей, содержащих кислород. Кроме первичного терапевтического эффекта от ионного пучка регистрируется гамма-излучение, сопровождающее аннигиляцию возникающих в реакциях позитронов

7.6.3 Производство медицинских радиоизотопов

Ежегодно во всем мире свыше 30 миллионов человек получают процедуры с использованием медицинских радиопрепаратов. Сюда относятся процедуры диагностики, изучения развития и локализации новообразований, их терапия. Производство радиоизотопов с заданными «потребительскими» свойствами – одна из основных задач прикладной ядерной физики и неотъемлемый элемент ядерной медицины. Радиоизотопы характеризуются:

- свойствами ядерного распада;
- временем жизни;
- химическими свойствами;
- технологическими особенностями производства.

Основная для медицинских приложений характеристика радиоизотопа – тип ядерного распада (альфа-, бета- или гамма-активность и их сочетание) и энергия вторичных частиц. Излучение большой проникающей силы используется для радиографических целей - оно легко достигает детектора вне тела пациента. Излучение с коротким пробегом в тканях, как правило, служит для терапевтических целей. На рис. 7.6 показана шкала ионизирующих излучений с областями действия от нанометров до метра.

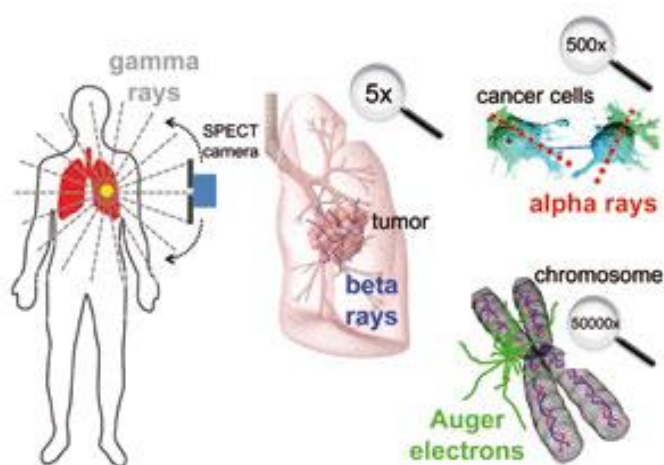


Рис. 7.6 – Типы ионизирующего излучения и масштабы радиационного воздействия

По времени жизни радиоизотопы различаются многократно. К сожалению, большинство «удобных» для медицинских приложений радиоизотопов имеет малое время жизни и распадается раньше, чем может быть доставлено к пациенту. Выход был найден благодаря использованию так называемых генераторов - долгоживущих радиоизотопов, распадающихся в требуемые и не имеющие вредного сопровождения. Например, радиоизотоп ^{99m}Tc , используемый в гамма-томографии, имеет период полураспада всего 6 часов, что существенно ограничивает возможности его применения. Однако он получается из бета-распада ^{99}Mo , который является в данном случае генератором с периодом полураспада уже 66 часов.

На втором месте по частоте использования в гамма-томографии, после ^{99m}Tc , стоит радиоизотоп ^{123}I , с периодом полураспада 13 часов и энергией гамма-кванта 159 кэВ. Он выделен тем, что йод является биологически усвояемым элементом и фармакологически легче может быть доставлен к нужным тканям.

Для изучения вентиляции лёгких методом гама-томографии используются радиоизотопы ^{133}Xe и ^{81m}Kr , последний живет всего 0.004 часа и получается из распада генератора ^{81}Rb .

Для позитрон-эмиссионной томографии используются следующие радиоизотопы: ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{68}Ga и ^{82}Rb . Их периоды полураспада не превышают 2 часов, а последний живет всего 75 секунд и получается из распада генератора ^{82}Sr . Для некоторых приложений используются более долгоживущие изотопы со временем жизни, составляющим несколько часов. Так, например, ^{64}Cu , ^{89}Zr и ^{124}I наиболее подходящие радиоизотопы для исследования антител в иммунологии, а ^{44}Sc используется в молекулах «среднего» размера, например, пептидах.

Уже более полувека радиоизотопы широко используются в терапии (радиологии), в первую очередь, интенсивные источники коллимированного гамма-излучения на основе ^{60}Co , ^{137}Cs и ^{192}Ir . В последнее время появились альтернативные методы, использующие тормозное излучение в электронных ускорителях. На рис. 7.7 показана карта терапевтического использования радиоизотопов в клинике.

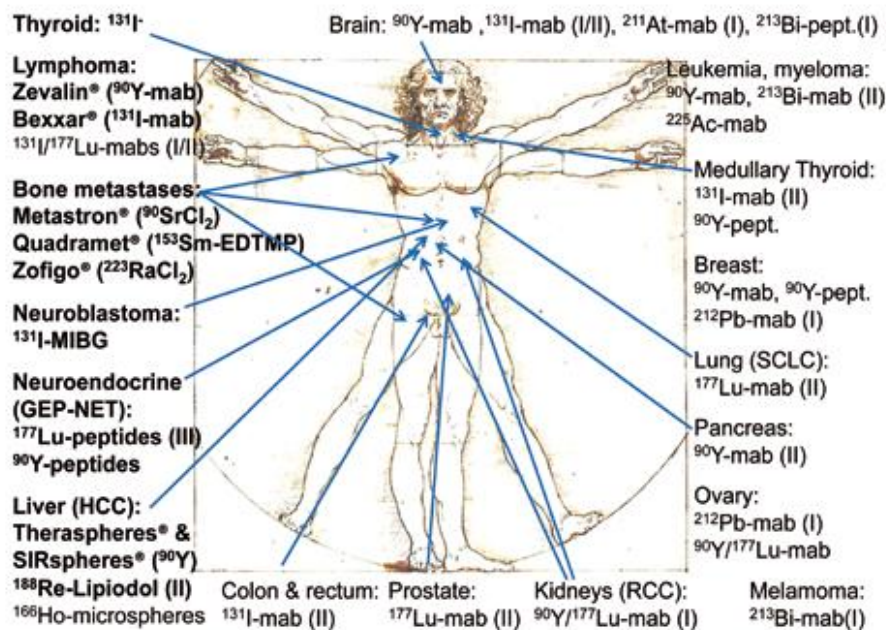


Рис. 7.7 – Использование радиоизотопов для лечения различных болезней

По способу получения радиоизотопы разделяют на реакторные и ускорительные. Условность этого разделения иллюстрируется схемой получения изотопов ^{99}Mo и $^{99\text{m}}\text{Tc}$, на которой приведены соответствующие ядерные реакции. В каждом конкретном случае предпочтение отдается тому методу, который имеется в наличии, в этом отношении решающими становятся экономические показатели. Общей частью обеих методик является финальная радиохимическая подготовка фармпрепарата, которую можно отнести к новой области «ядерной фармакологии».

Распределение потребления радиоизотопов для медицинских целей в Европе представлено на рис. 7.8. В нем доминирует ^{99m}Tc (80%) и изотопы для ПЭТ (10%). Проведение ПЭТ процедур обнаруживает бурный рост – примерно на 20% в год, что требует увеличения производства соответствующих радиоизотопов.

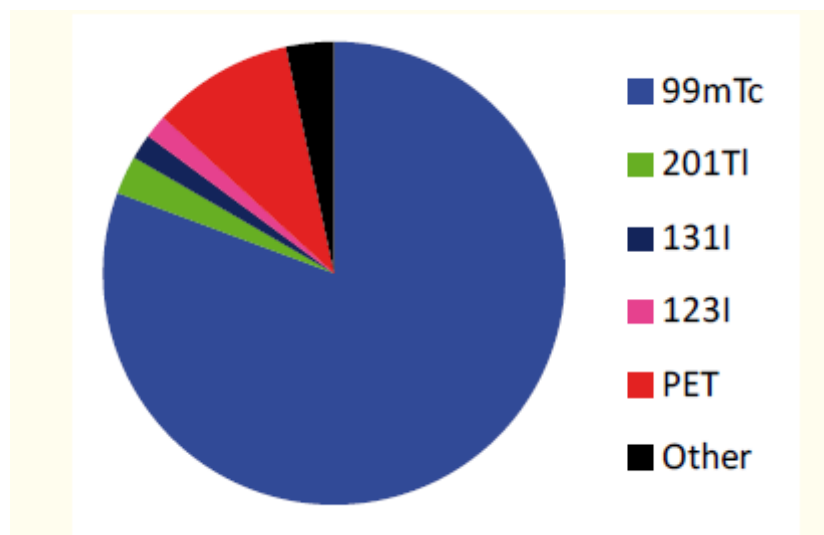


Рис. 7.8 – Потребление радионуклидов в клиниках Европы

Ежегодно в мире проводится около 30 миллионов медицинских процедур с использованием ^{99m}Tc . Его производство в форме генераторов на основе ^{99}Mo ограничено количеством действующих реакторов, всего 8 реакторов в мире выпускают 96% этого препарата (данные без России). В этом отношении развитие медицинского направления в научной программе реактора ПИК является насущным и актуальным в условиях Санкт-Петербурга и всего Северо-Запада, тем более, если учесть, что исследования в этом направлении ведутся в Петербургском институте ядерной физики. В ПИЯФ на базе синхроциклотрона действует центр стереотаксической протонной терапии (ЦСПТ) заболеваний головного мозга, таких как различные виды аденом гипофиза и артериовенозных мальформаций сосудов головного мозга. Малое рассеяние протонов с энергией 1000 МэВ при их прохождении через облучаемый объект в сочетании с ротационной техникой облучения обеспечивает высокое отношение дозы в зоне облучения к дозе на поверхности. Данный метод облучения, являясь уникальным в мировой практике, отличается надежностью облучения и высокой лечебной эффективностью, однако область его применения ограничивается пока лечением ряда заболеваний головного мозга.

В настоящее время в ПИЯФ–РНЦРХТ, в дополнение к существующему ЦСПТ, осуществляется проект универсального центра протонной терапии с регулируемой

энергией протонов в диапазоне 80- 240 МэВ. Этот центр должен в значительной степени обеспечить потребность Северо-Западного Региона России в лечении на самом современном уровне широкого спектра онкологических заболеваний. В ПИЯФ существует также широкая программа получения реакторных радиоизотопов. Это направление становится особенно перспективным с пуском в ПИЯФ высокопоточного реактора ПИК. При этом планируется получение сверхчистых короткоживущих изотопов (без “горячей” химии). По возможности получения сверхчистых радионуклидов установка не будет иметь мировых аналогов.

Характерными особенностями исследований, проводимых петербургскими физиками-ядерщиками, являются тесная кооперация с иностранными исследователями, а также возрастание удельного веса прикладных исследований на стыке нескольких наук. Можно надеяться, что ввод в эксплуатацию реактора ПИК даст импульс развитию исследований в Петербурге.

7.7 Коллекции как главный инструмент и информационная основа фундаментальных биологических исследований

Содержание понятия «Коллекция» в наши дни бурного прогресса информационных технологий и успехов молекулярно-генетических исследований стремительно наполняется новыми смыслами. В настоящее время коллекции по праву рассматриваются как банк научной информации и основной инструмент для проведения фундаментальных и прикладных биологических исследований. Они доступны для изучения в соответствии с правилами хранения образцов, защиты и использования информации. Этот доступ определяется международными нормами, нормативными актами РФ и правилами внутреннего распорядка, установленными для коллекций. Каждый образец научной коллекции уникален, бесценен с точки зрения наращиваемой сопутствующей информации и не имеет коммерческой стоимости. Каждая составная часть коллекций - банк ДНК и информационный банк данных, сможет адекватно обслуживать потребности биологической науки и технологии в новом тысячелетии.

7.7.1 Коллекция ЗИН РАН

Организация коллекции генетического материала, пригодного для исследования различными методами в настоящее время и в будущем, чрезвычайно важна для разработки и реализации стратегии сохранения биоразнообразия, как и информационный банк данных об хранящихся экземплярах. Такая модель, будет адекватно обслуживать потребности биологической науки и технологии в новом тысячелетии в соответствии с современными принципами и стандартами мировых зоологических коллекций

Наиболее перспективными направлениями работ представляются разработки по созданию эффективной структурно-функциональной модели и баз данных уникальной крупнейшей в РФ зоологической коллекции.

В рамках проекта предлагается создать структурно-функциональную модель зоологической коллекции, оптимизировать набор документации по ее государственной регистрации, определить порядок проведения и необходимость каждого вида экспертиз при перемещении образцов зоологических коллекций в целях их изучения, разработать механизм распознавания образцов научных коллекций и их отличия от товаров коммерческого назначения. Настоящий проект направлен на разработку научно-практического описания зоологической коллекции, как единого постоянно пополняемого массива образцов объектов животного мира (зоологических коллекций), выполняющего научные, образовательные и просветительские функции. Для создания модели будет

использована коллекция ЗИН РАН. Будет обоснована главенствующая роль коллекционных фондов во всех фундаментальных и прикладных биологических исследованиях. Будет создана модель движения образца зоологической коллекции от момента его сбора, фиксации и изучения до помещения в коллекцию на месте постоянного хранения, доступного для последующего повторного исследования, включая возможность сравнения с образцами из других коллекций. Статус уникального образца по этой схеме может меняться неоднократно от неопределенного экземпляра до носителя того или иного зоологического названия, в том числе, типового. В соответствии с Международным кодексом зоологической номенклатуры, будут определены особые условия хранения и правила изучения для типовых экземпляров – носителей научных названий. Будет использован международный опыт в организации хранения, документирования и создания электронных баз данных ваучерных экземпляров, включая образцы ДНК хранящихся в ЗИН экземпляров. Наиболее важно создание модели, которая позволит собрать полную информацию об имеющемся биоразнообразии, где каждая составная часть коллекции - банк ДНК и информационный банк данных об экземплярах будет нести свои специфические функции и сможет адекватно обслуживать потребности биологической науки и технологии в соответствии с современными принципами и стандартами мировых зоологических коллекций.

Содержание понятия «Зоологическая коллекция» в наши дни бурного прогресса информационных технологий и успехов молекулярно-генетических исследований стремительно наполняется новыми смыслами. В настоящее время коллекция по праву рассматривается как банк научной информации и основной инструмент для проведения фундаментальных и прикладных биологических исследований. Она доступна для изучения в соответствии с правилами хранения образцов (экспонатов), защиты и использования информации. Этот доступ определяется международными нормами, нормативными актами РФ и правилами внутреннего распорядка, установленными для коллекций. Каждый образец научной коллекции уникален, бесценен с точки зрения наращиваемой сопутствующей информации и не имеет коммерческой стоимости. Научное использование депозитариев коллекций и интегрированных информационных систем по фаунистическому биоразнообразию в современном контексте включает, в качестве наиболее важных современных задач, оцифровку коллекций и размещение фактической информации в открытом доступе в Интернете, в также создание банк ДНК. Последняя часть коллекции позволит собрать полную информацию об имеющемся биоразнообразии, где каждая составная часть— коллекции, банк ДНК и информационный банк данных об

экземплярах будет нести свои специфические функции и сможет адекватно обслуживать потребности биологической науки и технологии в новом тысячелетии [1,2,4,6,8-10, 1-2, 11-12, 26].

Зоологический институт РАН – одно из старейших научных учреждений России. Уникальные фондовые коллекции Института – это зоологические коллекции, т.е. особым образом депонированные экземпляры животных. Они собраны многими поколениями отечественных и иностранных зоологов и представляют также историческую ценность. Коллекция Зоологического института является одной из крупнейших в мире и насчитывает 60 млн. единиц хранения. Единицами хранения являются чучела, тушки, шкурки, скелеты позвоночных животных и их части, птичьи яйца и гнезда, сухие и влажные (в спирте или формалине) рыбы, земноводные, пресмыкающиеся и беспозвоночные животные, специальные препараты животных микроскопических размеров или их частей, современные и ископаемые остатки животных. Исключительную ценность представляют хранящиеся в коллекции несколько десятков тысяч типовых экземпляров видов животных, которые имеют статус международных эталонов и составляют объективную основу зоологической номенклатуры. Эти типовые экземпляры (эталонные) животных по своей уникальности и значимости могут быть сравнимы с эталонами мер и весов. Типовые экземпляры по определению уникальны, они не имеют аналогов и не могут быть заменены. В целом, в коллекциях ЗИН РАН представлены более 300 тысяч видов животных, что составляет около четверти известной мировой фауны. Представлены практически все виды животных, известные из России, многие представлены большими сериями. Коллекции ЗИН РАН [6,7,32] являются крупнейшими в РФ и СНГ и входят в число трех крупнейших зоологических коллекций мира, наряду с Национальным музеем естественной истории (British Museum Natural History) в Лондоне и Смитсоновским институтом (Smithsonian Institute) в Вашингтоне. Для многих групп животных Северного полушария Старого Света это наиболее представительные коллекции в мире. Уникальная фондовая коллекция ЗИН РАН входит в мировую сеть уникальных зоологических коллекций как неотъемлемая часть фактической научной основы для работы зоологов всего мира.

В современном мире организация коллекций в научном учреждении подвергается интенсивной модернизации. Необходимо создание модели зоологической коллекции, эффективной с точки зрения ее функциональной структуры, рассматриваемой как интегрированное взаимодействие составляющих ее элементов в едином информационном поле. В настоящее время в Зоологическом институте разрабатывается такая модель на базе национальной научной зоологической коллекции.

Зоологическая коллекция — это упорядоченное научно документированное собрание (или набор объектов), представляющих научный или образовательный интерес и хранящееся в специальных учреждениях — естественнонаучных музеях и институтах. Научные коллекции подразделяют на *обзорные* и *исследовательские*. Последние могут содержать законсервированные материалы или живые объекты (культуры). *Мониторинговые* коллекции (периодически повторяющиеся сборы с целью выявления изменений в природных сообществах) выделяют в отдельный тип исследовательских коллекций. Единицы хранения в коллекциях разнообразны — от банки с большим числом экземпляров одного вида беспозвоночных до части скелета позвоночных [5]. Зоологический институт по числу экземпляров (более 60 миллионов единиц хранения) и уникальности сборов занимает одно из первых мест среди мировых хранилищ коллекций животных.

Интенсивная компьютеризация зоологии ознаменовала новый этап в развитии коллекционного дела. Объектами зоологических коллекций могут быть чучела, тушки, шкурки, скелеты позвоночных животных и их части, птичьи яйца и гнезда, сухие беспозвоночные животные, влажные и сухие препараты любых животных, их частей, живые дикие животные, живые и замороженные культуры микроскопических объектов, остатки современных и ископаемых организмов четвертичного периода и следы их жизнедеятельности. Зоологические коллекции исчисляются не столько в экземплярах, сколько в единицах хранения. Единица хранения - это любой объект, имеющий этикетку со сведениями о месте и времени сбора, фамилией сборщика и в идеале - с научным определением. Это может быть скелет мамонта или препарат на предметном стекле, насекомое или банка с собранным материалом, коробка с рядом животных одного вида или с одной точки сбора и даже целая полка с костями животных из одной стоянки первобытного человека. Понятие «единица хранения» имеет много эквивалентов, некоторые из которых (образцы зоологических коллекций, научные материалы, экземпляры и пр.) используются в правовой и нормативной лексике.

Выбор направления исследований, включающий обоснование направления исследования, методы решения задач и их сравнительную оценку, описание выбранной общей методики проведения НИР

Простейшие модели зоологических коллекций составлялись в доантичные времена и, в соответствии с ними, организовывались временные собрания систематизированных живых или консервированных объектов животного мира. Однако до нас дошли лишь единичные образцы, собранные и сохраняемые именно как образцы научных

зоологических коллекций в XVI веке в период великих географических открытий. С этих пор началось практическое моделирование структуры и функционирования ряда крупных коллекций, существующих и сегодня. Коллекции собираются трудом многих поколений ученых, путешественников, любителей природы. В них сосредоточено все многообразие природы от лесов, равнин и пустынь до океанских глубин. Многие коллекционные объекты удивительно красивы и вызывают чувство эстетического наслаждения; некоторые имеют немалую рыночную стоимость. Однако, коллекция, прежде всего, рабочий инструмент зоологической систематики, без изучения коллекций исследование животного мира просто невозможно. Крупнейшие зоологические коллекции мира, создававшиеся веками, имеют для науки не меньшую ценность (а точнее бесценность), чем сокровища Лувра или Эрмитажа. Они хранятся в ведущих научных центрах мира - таких, как Британский Музей в Лондоне, Музей Естественной Истории в Париже, Национальный Музей Естественной Истории в Вашингтоне (Смитсоновский институт), Зенкенбергский музей во Франкфурте на Майне, Музей естественной истории в Лейдене, и во многих других институтах и музеях. Среди них одно из первых мест по количеству единиц хранения занимает ЗИН РАН [4,5,7,9, 26].

В мировой практике важная роль уделяется описанию структурных подразделений коллекций. Блочная схема с описанием движения коллекционного экземпляра от сбора в поле до полной обработки, определения, описания и до помещения на постоянное хранение принадлежит Д. Тэйлору (D.Taylor, 2006), однако и в ней не учитывается все разнообразие образцов типов хранения. Коллекции ЗИН РАН требуют пополнения и постоянного сравнительного изучения, как российскими специалистами, так и учеными мирового сообщества. Поэтому надежное осуществление регулярного временного ввоза в страну и вывоза за пределы РФ образцов зоологических коллекций, необходимых для изучения, является для деятельности коллекции жизненно необходимым. Жизненно необходимо, как это принято во многих передовых странах мира, ввести особый упрощенный порядок ввоза/вывоза образцов государственных зоологических коллекций в научных целях, а также других научных материалов.

Предполагается изучить все возможные пути движения образца животного мира: от его изъятия из живой природы через различные виды консервации и документации к первичной обработке, помещению на хранение, к организации доступа к изучению, к последующему изучению, определению, к превращению в единицу хранения единой зоологической коллекции, в носителя научного названия или в номенклатурный тип с постоянным местом хранения. В рамках создаваемой модели предлагается создавать демонстрационные разделы коллекции, оборудованные по разрабатываемым правилам

необходимых условий хранения и использование единиц хранения разных типов и разного назначения. Необходимо стремиться к созданию модели, которая позволит собрать полную информацию об имеющемся биоразнообразии, где каждая составная часть— коллекции, банк ДНК и информационный банк данных об экземплярах будет нести свои специфические функции и сможет адекватно обслуживать потребности биологической науки и технологии в новом тысячелетии в соответствии с современными принципами и стандартами мировых зоологических коллекций [9,17-28].

Процесс теоретических и (или) экспериментальных исследований.

Перспективы развития банков генетических ресурсов - банки ДНК

Существуют два основных типа музейных коллекций организмов: первый - традиционный, давно занявший свое место в описании биоразнообразия, и второй, пока значительно менее распространенный — депозитарии замороженных жизнеспособных репродуктивных и соматических клеток. Криоконсервация — почти идеальный тип депонирования материала, поскольку позволяет сохранять потенциально жизнеспособные организмы или их клетки и открывает широкие возможности для исследований. Однако технология глубокого замораживания и хранения в жидком азоте — довольно сложная, дорогостоящая и энергоемкая процедура. В результате лишь ограниченное число видов живых организмов в настоящее время находится в криобанках, и трудно надеяться, что в будущем положение изменится к лучшему. Между тем криобанки - это не только депо биологического материала, но и ценнейший источник ДНК криоконсервированных объектов, по которой можно судить о состоянии генома организмов, сравнивая ее с референтной ДНК. Создание коллекции генетического материала, пригодного для исследования различными методами как сейчас, так и в будущем, чрезвычайно важно для разработки и реализации стратегии сохранения биоразнообразия.

В Зоологическом институте РАН начато создание банка генетических ресурсов животных (простейших, насекомых, рыб, амфибий, рептилий, млекопитающих), которые сохраняются в виде очищенной высокомолекулярной ДНК [1,2,11,12]. Поскольку секвенирование ДНК уже стало автоматическим рутинным процессом, коллекция генетических ресурсов позволяет не только реконструировать генетический облик организма и установить его место в системе животного царства, но и становится бесценным источником информации о редких, исчезающих и находящихся под угрозой видах животных. В природоохранных исследованиях, в том числе при изучении генетического разнообразия видов, такой подход имеет принципиальное значение для разведения животных из группы риска в неволе и их реинтродукции [11,12].

Начатые и планируемые в будущем в Зоологическом институте работы по выделению ДНК проводятся в составе развернутых исследований по созданию банка генетических ресурсов охраняемых видов животных. Весьма перспективны совместные проекты по формированию коллекций ДНК нашего института с Институтом биофизики клетки РАН, сотрудниками которого разработаны научные основы для сохранения жизнеспособных клеток, в частности, амфибий и рыб, а также для применения этих разработок в природоохранных проектах. В дополнение к классическим музейным методам и криоконсервации банк ДНК позволит собрать полную информацию об имеющемся биоразнообразии, где каждая составная часть коллекционной триады — музей, криобанк и банк ДНК — будет нести свои специфические функции и сможет адекватно обслуживать потребности биологической науки и технологии в новом тысячелетии [1,2,11,12]. Важно отметить, что расширение технических возможностей методов выделения ДНК (в том числе работа с так называемой «древней» ДНК в ближайшее время позволит работать с исторически значимыми коллекционными экземплярами, в том числе типовыми и субфоссильными, что будет решающим для решения многих вопросов исследований биоразнообразия.

Коллекции Зоологического института - одни из наиболее старинных в Европе. Происхождение этих коллекций может быть прослежено со времен Петра Великого когда в 1714 году был основан первый музей в России, названный Кунсткамерой. В 1717, Петр Великий купил для кунсткамеры знаменитую естественно-историческую коллекцию Альберта Себа, купца из Амстердама. Эта коллекция включает примерно три сотни амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих. Часть этих экземпляров до настоящего времени хранится в Зоологическом институте в прекрасном состоянии.

Развитие информационных систем по биоразнообразию и коллекционных баз данных

Роль коллекций в зоологических учреждениях как центрах биологических знаний приобретает растущее значение в связи с бурным развитием информационных технологий. В Зоологическом институте заложены основы развития информационных систем по биоразнообразию. Эти цели достигаются посредством (1) освоения опыта, разработанного в этой области музеями естественной истории и другими зоологическими учреждениями мира [9,15,16], (2) созданием структуры информационных систем по биоразнообразию (базы банных, веб-портал) в Зоологическом институте РАН [6-10,26] и (3) интегрированием этой структуры в различные отечественные и международные сеть баз данных по информации о биологических коллекциях. Наиболее эффективные разработки в этой области принадлежат музеям и институтам естественной истории США.

Одно из первых мест в Интернете занимает электронная коллекция Национального музея естественной истории в Вашингтоне, США [27]. Разработаны специализированные сайты, как, например, сайт Амстердамского зоологического музея по редким и вымершим птицам с трехмерными изображениями [28].

В области зоологии позвоночных лидирующую роль занимает совместный проект по созданию коллекционных баз данных музеев естественной истории Калифорнийского и Канзасского университетов. В этом успешно реализуемом проекте аккумулирована информация по коллекциям основных зоологических музеев и институтов мира (США, Канады, Австралии, Европы, РФ, Турции и КНР), в 2003 г. создана специализированная лаборатория по разработке информационных систем в изучении и хранении информации по биоразнообразию [16,21-23]. Проект эффективно мобилизует усилия по оцифровке каталогов, созданию сети баз данных, геореференцированию данных по локалитетам хранящихся в музейных депозитариях экземпляров, используя программы. В дополнение к перечисленным действиям проект предполагает гармонизацию баз данных различных музеев, включая перевод в латиницу из каталогов в кириллице или китайских иероглифах. К числу его неоспоримым достоинств относится отсутствие жестких требований, предъявляемых к структуре коллекционных баз данных и стандартам таксономических классификаторов в различных хранилищах фаунистических коллекций по всему миру, объединенных этой базой. Эффективность достигается за счет использования кросс-платформенного DIGIR провайдера (www.digir.net), разворачиваемого на выделенном сервере и способного обслуживать входящие и исходящие запросы к любым типам баз данных, используемых в институтах и музеях. Таким образом, в организациях обеспечивается сохранение единства структуры баз данных, использующихся как внутри сети, так и для публичного доступа извне, а также появляется возможность интеграции имеющихся информационных ресурсов в международную информационную сеть баз данных. Специализированное программное обеспечение для автоматизации геореференцирования BioGeomancer не имеет аналогов в мире. Разработка в рамках настоящего проекта его версии, способной обрабатывать точки находок, набранные кириллицей, позволяет существенно расширить функциональность программы, создав предпосылки обработки не только русского языка, но и иных кириллических шрифтов. В этой связи участие Зоологического института в подобном проекте представляется важным этапом на пути внедрения передовых информационных технологий в ЗИН и обеспечения тесной интеграции ЗИНа в международное информационное пространство распределенных зоологических ресурсов. Проект соответствует инновационным направлениям мировой и российской науки.

Базы данных (БД) и информационно-поисковые системы (ИПС) по исследовательским коллекциям подразделяют на БД законсервированных образцов и БД коллекций живых организмов [4]. Растет доступность и значимость оцифрованных коллекций [3]. Сайты, посвященные зоологическим коллекциям, исчисляются уже тысячами и десятками тысяч адресов. Появилось большое число ресурсов с обобщающими каталогами ссылок на сайты с данной тематикой. Но при всем при этом, реальных ресурсов, отражающих не только метаданные, но и конкретные коллекции крайне мало. Отличительной чертой электронных зоологических коллекций является то, что переход от реального коллекционного материала только к электронным изображениям будет медленным. Из-за огромной сложности зоологических объектов, сложившихся традиций и специфики описания новых видов, которое основывается на обязательном существовании типовых или эталонных экземпляров, сохраняется необходимость содержания и реальных, и электронных образцов. В недалеком будущем создание электронных копий зоологических объектов превратится в рутинный и недорогой процесс (методы компьютерного моделирования трехмерных объектов, различные виды томографии для изображения внутренней структуры организмов и т.п.), дополняет и расширяя возможности работы специалистов, в том числе и в удаленном доступе.

Обобщение и оценка результатов исследований

ЗИН РАН содержит и распоряжается главной в стране и одной из крупнейших в мире зоологических коллекций, все элементы которой (единицы хранения, научные материалы, образцы, экспонаты, зоологические объекты) находятся в постоянном изучении отечественными и зарубежными специалистами. Содержание, пополнение, управление и система доступа к изучению образцов коллекции ЗИН РАН осуществляется в соответствии с правилами внутреннего распорядка, учитывающими традиции и специфику коллекций и научных исследований. К настоящему времени коллекции ЗИН РАН насчитывают около 60 000 000 единиц хранения, которые зарегистрированы в книгах поступлений и каталогах. В состав коллекции ЗИН РАН входят и необычные структурные элементы: коллекции живых организмов, живых культур и банк ДНК животных самых различных таксонов. Если рассматривать зоологические коллекционные базы данных как наборы электронных документов или образов, то среди разработок и проектов Зоологического института найдется немало заслуживающих внимания, все они представлены сегодня на портале ЗИН РАН. Это, во-первых, Банк данных по кольцеванию птиц. Создание компьютерного банка данных Биологической Станции «Рыбачий» (Балтийское море, Россия) началось в 1979 г. Теперь он содержит более чем 2 300 000

записей по окольцованным птицам, 113 000 записей по перелетным птицам и более чем 12 000 записей по возвратам птиц. Во-вторых, ЗООИНТ — ЗООлогическая ИНТегрированная система — информационный проект-ветеран, от которого берут начало многие разработки сотрудников ЗИН в области таксономических баз данных [3, 5, 9]. По мере развития отдельные аспекты концепции ЗООИНТ превратились в самостоятельные направления. Многолетняя работа над коллекционными БД дала целое дерево ответвлений. Центральный ствол представлен интегрированной системой ЗООИНТ. Одна из ветвей ИПС ЗООИНТ дала систему «ОКЕАН», которая коллективно используется и совершенствуется в лабораториях Морских исследований и Ихтиологии. Мощное ответвление представлено информационно-аналитической системой по мировой фауне блох PARHOST, развиваемой С.Г. Медведевым с коллегами [3]. Другая ветвь системы ЗООИНТ развивается с участием А.Ф. Алимова и его коллег. Это ИПС INVADER, которая служит для накопления и анализа данных об организмах-вторженцах [26]. Особое значение базы данных имеют в исследованиях, проводимых в Лаборатории систематики насекомых [26]. Эта Лаборатория имеет самую большую коллекцию в Институте — около 25 млн. единиц хранения, а объекты исследования ее сотрудников относятся к самому большому классу животных — насекомым, включающему более миллиона видов. Поэтому представить себе более или менее полную компьютеризацию сведений об этих коллекциях в настоящее время невозможно. Но разработки баз данных, ориентированных на коллекционные сведения, ведутся, и примером такого проекта может служить информационная система «ZInsecta», разрабатываемая В.А. Кривохатским с коллегами и включающая разнообразные авторские БД по иерархической классификации и коллекциям насекомых [3, 26]. Информационно-поисковая система «Океан» представляет собой первый в ЗИН распределенный банк данных. В Интернете ИПС «Океан» развивается на сайтах арктической программы по биоразнообразию ArcOD и антарктической программы CAML. К вводу данных, осуществляемому по-прежнему в СУБД Fox-Pro for Windows, прибавились работы по миграции данных из формата Fox-Pro в формат MS SQL Server с одновременной тщательной унификацией полей и данных, созданием словарных таблиц. Организуется вывод данных по запросам в веб-интерфейсе на базе ASP-технологии пока в пределах институтского Интранета.

Значительное место среди компьютерных разработок ЗИНа занимает диалоговая компьютерная диагностическая система BIKEY/PICKEY/WEBKEY-X. Биологическая компьютерная диагностическая система BIKey (Biological Identification Keys) предназначена для автоматизации процессов работы с диагностической информацией о

биологических таксонах и также активно использует БД. Эта система является развитием идеи интерактивного использования информации по биоразнообразию и коллекциям [26].

С помощью этой системы был подготовлен определитель жесткокрылых насекомых, опубликованный в Германии в виде компьютерного компакт-диска. Созданы первые версии определителей иглокожих, в частности — арктических (в MS DOS) и антарктических (в MS Windows) офиур. А.Ю. Рыссом созданы ключи для фитопатогенных нематод [26]. Подготовка данных для этой системы является кропотливым и отнимающим много времени трудом, который, однако, окупается удобством и надежностью создаваемых компьютерных определителей, с которыми ни в коей мере не могут конкурировать традиционные «бумажные» издания

Несмотря на бурный рост информационных технологий биологические и, в частности, зоологические исследования медленно поддаются стандартизации и компьютеризации в силу большой сложности систематических и номенклатурных отношений. Разработчики ИПС “ЭКОАНТ” предложили оригинальный метод по представлению зоологической иерархической классификации таксонов в реляционной БД [26]. Создание ИПС такого масштаба для антарктического бентоса не будет иметь аналогов в мире уже по той простой причине, что источником данных послужат обширнейшие уникальные коллекции морских беспозвоночных и рыб, собранные за 50 лет исследований в стенах Зоологического института стараниями нескольких поколений коллекторов.

Для ИПС “ЭКОАНТ” проводилась разработка структуры баз данных и создание модели информационно-поисковой системы по экологии бентоса Антарктики. При организации фаунистических и экологических банков данных и ИПС встают две серьезные проблемы: а) ведение записей по систематике организмов, особенно учет синонимов, и б) представление географических данных. Первая решается путем использования компьютерного классификатора названий животных. Вторая – путем использования координат и географических информационных систем [26]. Система “ЭКОАНТ” создается под управлением СУБД FoxPro 2.6 под Windows. Написан блок ввода данных и начато заполнение основных БД. Базы данных включают информацию по гидробиологическим станциям, на которых были проведены ловы морских донных животных и содержат данные о координатах, параметрах среды: глубине, грунту и другим. В сочетании с систематической БД, содержащей сведения о составе фауны (классификатором) и коллекционной БД (сведения о месте и способе хранения собранного материала) ИПС позволит проводить поиск информации по многочисленным запросам. ИПС по экологии антарктического бентоса может способствовать решению следующих

задач: выявлению фаунистического состава и особенностей отдельных акваторий и на этой основе получению данных о составе биоценозов и сообществ; изучению биоценологических отношений; исследованию изменений, происходящих в фауне регионов под воздействием глобальных климатических изменений и/или антропогенного воздействия. Все это возможно на основе сравнения современных сборов животных и информации о видах из уникальной коллекции, хранящейся в институте, что является в свою очередь одной из задач глобального экологического мониторинга, а также помогает решению других проблем. Уже разработана БД по морским колониальным птицам Антарктики. Информацию о ходе развития ИПС “ЭКОАНТ” можно посмотреть на сайте о проектах, выполняемых в Зоологическом институте РАН.

Международные интегрированные информационные системы баз данных являются наиболее проработанными системами подобного рода в данной области науки. К числу их неоспоримым достоинств следует отнести отсутствие жестких требований, предъявляемых к структуре коллекционных баз данных и стандартам таксономических классификаторов. Это достигается за счет использования кросс-платформенного DIGIR провайдера (www.digir.net), разворачиваемого на выделенном сервере и способного обслуживать входящие и исходящие запросы к любым типам баз данных, используемых в институтах и музеях. Таким образом, в организациях обеспечивается сохранение единства структуры баз данных, использующихся как внутри сети, так и для публичного доступа извне, а также появляется возможность интеграции имеющихся информационных ресурсов в международную информационную сеть баз данных. Специализированное программное обеспечение для автоматизации геореференсирования BioGeomancer не имеет аналогов в мире. Разработка в рамках настоящего проекта его версии, способной обрабатывать точки находок, набранные кириллицей, позволит существенно расширить функциональность программы, создав предпосылки обработки не только русского языка, но и иных кириллических шрифтов. В этой связи участие Зоологического института в подобном проекте представляется важным этапом на пути внедрения передовых информационных технологий в ЗИНе и обеспечения тесной интеграции ЗИНа в международное информационное пространство распределенных зоологических ресурсов. Руководителем и исполнителями проекта будет обеспечен высокий уровень полученных результатов, соответствующих мировому. Проект соответствует инновационным направлениям мировой и российской науки.

Создание электронных коллекций приближает время появления виртуальных зоологических музеев [3,9,10], которые будут представлять собой сложные информационные системы, включающие данные об истории создания коллекций; о

поколениях создателей, препараторов, сборщиков, кураторов и хранителей коллекций и другую полезную информацию.

Таким образом, одна из актуальнейших научных проблем, а также необходимое условие модернизации зоологических коллекций и алгоритмов их исследования – развитие информационных систем по биоразнообразию и разработка основ создания структуры таких систем с последующим интегрированием в международную сеть баз данных по информации о коллекциях планируется к осуществлению в Зоологическом институте Российской Академии Наук, Санкт-Петербург (ЗИН) будет осуществляться посредством решения ряда конкретных фундаментальных задач Коллекции Зоологического института – одни из наиболее старинных и исторически значимых в Европе, по количеству единиц это также одна из наиболее крупных европейских коллекций. Тысячи музейных экземпляров зафиксированы в этаноле и таким образом пригодны для исследования ДНК. Коллектив исполнителей для выполнения проекта по созданию эффективной структурно-функциональной модели и баз данных уникальной крупнейшей в РФ зоологической коллекции Зоологического института РАН в научных, учебных и просветительских целях имеет в своем распоряжении следующие технические и программные средства: выделенный сервер DIGIR провайдера (двухпроцессорный сервер, работающий под управлением Windows Server 2003 с развернутыми IIS 6.0 и DIGIR), пять пользовательских рабочих станций, объединенных в локальную сеть института и имеющих выход в Интернет, комплекс оргтехники, включающий планшетные и слайд-сканеры, лазерный и струйный принтеры, копировальный аппарат, программное обеспечение DIGIR, Global GIS Catalog и Georeferencing Calculator. Планируемый проект соответствует передовым инновационным направлениям мировой и российской науки.

Список библиографических источников

1. Абрамсон Н.И., Ананьева Н.Б., Подлипаев С.А., Пугачев О.Н. 2004. Коллекции ДНК - новый путь изучения и сохранения биологического разнообразия // Фундаментальные зоологические исследования. Теория и методы. КМК, М-СПб, 273-282
2. Ананьева Н.Б., Подлипаев С.А., Пугачев О.Н. 2002. От кунсткамеры до банка генетических ресурсов. Природа. №8. С.17.
3. Алимов, А. Ф., Смирнов, И.С., Рысс, А.Ю., Дианов, М.Б., Лобанов, А.Л., Голиков, А.А. (2001). Современные биологические электронные публикации; коллекции, идентификационные системы и базы данных. Информационные и телекоммуникационные ресурсы в зоологии и ботанике. Материалы 2-го Международного Симпозиума. А. Ю. Рысс, Минтер, Д. (ред.). Isleworth, UK, PDMS Publishing: с. 5-19.

4. Алимов А.Ф., Танасийчук В.Н., С.Д. Степаньянц. 2003. Разнообразие мировой фауны в коллекциях Зоологического института РАН. В: Петросян Ю.А., Иванова Е.А. (ред.). Сокровища академических собраний Санкт-Петербурга. СПб. Наука: 239-298.
5. Зоологический институт Российской академии наук. 2002. Под ред. Степаньянц С.Д. СПб: 1-28.
6. Кривохатский В.А., Лобанов А.Л., Дианов М.Б. 2003. Интернет-коллекция муравьиных львов (Insecta, Neuroptera, Myrmeleontidae) // Информационные системы по биоразнообразию видов и экосистем. Научная программа и тезисы 4-го Международного симпозиума. СПб. 2003. с. 92-93. ^ [V.A. Krivokhatsky, A.L. Lobanov, A.Y. Ryss, M.B. Dianov. Internet collection of ant lions (Insecta, Neuroptera, Myrmeleontidae) // Information Systems on Biodiversity of Species & Ecosystems. Scientific program & abstracts, SPb. 2003. pp. 92-93.]
7. Кривохатский В.А., Лобанов А.Л., Медведев Г.С., Белокобыльский С.А., Дианов М.Б., Смирнов И.С., Халиков Р.Г. 2003. Информационная система по энтомологическим коллекциям в Интернете // Труды Русского энтомологического общества. Т. 74. СПб. С. 59-70.
8. Пугачев О.Н., Смирнов И.С., Кривохатский В.А., Лобанов А.Л., Рысс А.Ю., Дианов М.Б. 2003. Информационная система по биоразнообразию России // Информационные системы по биоразнообразию видов и экосистем. Научная программа и тезисы 4-го Международного ^ симпозиума. СПб. 2003. с. 82, 83. [O.N. Pugachev, I.S. Smirnov, V.A. Krivokhatsky, A.L. Lobanov, A.Y. Ryss, M.B. Dianov. Information system on the biodiversity of Russia // Information Systems on Biodiversity of Species & Ecosystems. Scientific program & abstracts, SPb. 2003. pp. 81, 82.]
9. Смирнов И.С., Лобанов А.Л., Алимов А.Ф., Кривохатский В.А. 2003. RCDL Электронные коллекции Зоологического института РАН // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды Пятой Всероссийской научной конференции RCDL'2003, (Санкт-Петербург, 29-31 октября 2003 г.): - Санкт-Петербург: НИИ Химии СПбГУ, 2003: 275-278.
10. Смирнов И.С., Лобанов А.Л., Алимов А.Ф., Пугачев О.Н., Кирейчук А.Г., Кривохатский В.А., Граничин О.Н., Вахитов А.Т. 2006. Зоологические электронные публикации: коллекции и индификационные системы // Интернет и современное общество. Труды IX Всероссийской объединенной конференции, 14-16 ноября 2006 г., Санкт-Петербург, СПб. 2006. С. 115-118.
11. Ryder O., Abramson N., Kahlia Bar Gal G. (2007). Ancient DNA and the origin of Przewalski's horses. *Zoonoos*. March 2007: 8-9.
12. Ryder O., McLaren A., Brenner S., K. DNA Banks for Endangered Animal Species. 2000. *Science* 14 April 2000: Vol. 288 no. 5464 pp. 275-277
13. Ryss, A. Y., Lobanov, A.L. (2003). Nematode systematics - potential of the database system using the nematode structure. Plan of action and resource kit for taxonomic capacity building. Implementing the global taxonomy initiative of the Convention on biological diversity. N. King, Smith, R. Egham, UK., BioNET INTERNATIONAL: CD-ROM. pp. 1-25.

14. Lynn K. Nyhart Modern Nature: The Rise of the Biological Perspective in Germany. The University of Chicago Press. Ltd London. 2009. 249 pp.
15. Sunderland M. Modernizing Natural History: Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology in Transition. 2013. Journal of the History of Biology August 2013, Volume 46, Issue 3, pp 369-400
16. <http://www.herpnet.org/>
17. <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/>
18. <http://www.amnh.org/our-research/vertebrate-zoology/herpetology/amphibians-of-the-world-database>
19. <http://www.reptile-database.org/>
20. <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/scientific-resources/collections/zoological-collections/zoology-specimen-database/>
21. <http://manisnet.org/>
22. <http://www.ornisnet.org/>
23. <http://www.vertnet.org/>
24. http://mvz.berkeley.edu/Informatics_Lab.html
25. www.wcmc.org.uk List of Threatened Animals, Wildlife Conservation and Monitoring Center
26. <http://www.zin.ru/>
27. (<http://www.mnh.si.edu/rc/>)
28. <http://ip30.eti.uva.nl/zma3d/>).

7.7.2. Коллекция Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова (ВИР)

ВИР – ведущая организация России планомерного сбора, сохранения в живом виде, изучения и рационального использования генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей. Одновременно институт является одним из крупнейших и богатейших по ботаническому разнообразию в мире генбанков растений. В России – это единственный генный банк растительных ресурсов, собранных со всех континентов Земли, который служит стратегической базой эффективного стабильного развития не только сельского хозяйства, но и всех отраслей экономики и социальной сферы.

Коллекции генетических ресурсов растений (ГРР) ВИР являются одним из самых ценных компонентов растительного разнообразия и требуют специальной политики со стороны государства для обеспечения работ по их надежному сохранению и использованию для производства продовольствия и стабильного развития сельского хозяйства.

Ценность и роль генетических ресурсов культурных растений для нынешних и будущих поколений существенно возросла не только в связи с резкой интенсификацией процессов эрозии генетического разнообразия, лавинообразным процессом исчезновения

видов в результате антропогенных воздействий, заменой в ряде регионов страны разнообразия возделываемых сортов народной селекции на современные коммерческие сорта, слабо адаптированные к местным условиям, но и с ростом потребностей селекции, в связи с решением приоритетных селекционных задач в различных эколого-географических зонах страны, переходом к развитию ресурсосберегающего сельского хозяйства, созданием устойчивых и продуктивных агрофитоценозов.

Сохранение и развитие коллекций культурных растений является частью приоритетной межведомственной и междисциплинарной проблемы сохранения биоресурсов, биоразнообразия, укрепления био- и продовольственной безопасности России. Во многих странах мира вопрос о сохранении и рациональном использовании генетических ресурсов определен в качестве приоритетной государственной задачи на законодательном, экономическом, научно-организационном уровнях.

Генофонд культурных растений, сосредоточенный в коллекциях ГРР ВИР, при условии его надежного сохранения, изучения и рационального использования, способен обеспечить развитие новых селекционных технологий и приоритетных направлений селекции XXI века, ориентированных на создание качественных продуктов питания и экологизацию сельского хозяйства. Это особенно актуально в связи с тем, что в последние два десятилетия мировой рынок экологически чистых продуктов питания бурно развивается и становится популярной альтернативой потреблению вредных и экологически небезопасных продуктов. Следует иметь в виду, что только 30 видов растений из почти 300 тыс. составляют более 90% рациона человечества. Благодаря достижениям науки и техники, а также основываясь на современных ботанических, биологических и молекулярных исследованиях список собранных и изучаемых генетических ресурсов растений постоянно будет пополняться новыми видами и, одновременно, расширяться сведениями о уже используемых.

ВИР для реализации функций мониторинга, сбора, воспроизведения, размножения, гарантированного сохранения в виде живых коллекций, всестороннего изучения генетических ресурсов растений за 120 лет существования создал эколого-географическую сеть опытных станций, филиалов и опорных пунктов. Единая эколого-географическая сеть ВИР позволяет оптимизировать работу с мировыми генетическими ресурсами растений благодаря единому научно-методическому руководству со стороны ВИРа и координации работ, единому информационному пространству в виде баз данных коллекций, а также оптимальному размещению образцов по опытной сети для их сохранения, восстановления всхожести и размножения в соответствии с эколого-

географическим подходом. Оптимизация работы с генетическими ресурсами растений в сети ВИРа делает ее более эффективной и менее затратной.

За 120 лет деятельности ВИРом осуществлено более 286 экспедиций в 110 зарубежных стран и 1556 – по территории России и стран бывшего СССР. Коллекции растений, собранные в ВИРе в виде семян, луковиц, клубней, почек, меристем, живых насаждений ежегодно пополняются в результате экспедиционных сборов, выписки и обмена с НИУ, университетами и генбанками более чем 150 стран мира. В настоящее время коллекции составляют более 325 тыс. образцов культурных растений и их диких родичей, представленных 64 ботаническими семействами, 376 родами и 2169 видами. В институте собрана уникальная гербарная коллекция, составляющая 376556 листов гербария, которая находится под протекторатом ЮНЕСКО.

Для обеспечения жизнеспособности коллекции мировых генетических ресурсов заложены на долгосрочное хранение в холодильные камеры Национального хранилища семян на Кубани (+4° , -18°C); находятся на безопасном дублетном хранении в зданиях института в специализированных низкотемпературных камерах (-10° , -18°C). Вегетативно размножаемые растения сохраняются в полевых клоновых генбанках на опытных станциях, в условиях культуры *in-vitro* и жидком азоте в биокриокомплексе (-190°C) института.

Из 325 тысяч образцов коллекции более 30% составляют сорта и популяции уже исчезнувшие с лица Земли. По некоторым культурам эта цифра достигает 50%. Переоценить значимость коллекции ВИР невозможно, достаточно сказать, что в 60-80-х годах XX века на базе изучения ценнейших образцов из мировой коллекции ВИР, селекционерами России и республик бывшего СССР были созданы уникальные сорта, позволившие повысить урожайность зерновых культур в 2-4 раза и значительно увеличить валовые сборы зерна. Только благодаря использованию в селекции коллекционных образцов диких видов картофеля, собранных в Южной и Центральной Америке, эта культура заняла всероссийский ареал, приобрела признаки скороспелости, лежкости, устойчивости к болезням, а урожайность ее в 90-е годы XX века увеличилась в 2-3 раза. Благодаря использованию в селекции источников холодостойкости кукурузы, ареал возделывания этой культуры на зерно продвинулся от Черноморского побережья на 1800 км на север и на 10 тыс. км на восток. Все российские короткостебельные сорта ржи, устойчивые к полеганию, выведены на базе донора короткостебельности, созданного в институте. В результате использования в селекции коллекционных образцов по многим культурам произошла настоящая «зеленая революция», в основе которой лежало углубленное эколого-географическое, генетическое, иммунологическое, физиологическое,

биохимическое, ботаническое изучение мировых генетических ресурсов растений и создание ценнейшего исходного материала для развития отечественной селекции во всех регионах России, где существует земледелие.

В институте развита теория и методология целенаправленной интродукции мировых генетических ресурсов, устойчивых к неблагоприятным факторам среды на базе геоинформационных технологий, позволяющих картировать на территории России и других стран места сбора важнейших для селекции с.-х. культур с генетическими системами устойчивости к неблагоприятным факторам среды. На основе сопряженного анализа компьютерных карт ареалов дикорастущих видов и родичей культурных растений и факторов среды, лимитирующих распространение этих видов, определены перспективные районы для сбора образцов.

За последние 20 лет в результате комплексного изучения мировой коллекции сформированы генетические коллекции по 20 важнейшим сельскохозяйственным культурам, выделены более 15 тыс. генетических источников, созданы 509 доноров хозяйственно ценных признаков и 126 сортов сельскохозяйственных культур, включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию.

Благодаря коллекциям института введены в культуру новые виды пригодные для пищевого использования (пшеница-спельта, амарант, пекинская капуста, стевия, алыча, облепиха, актинидия, жимолость и др.). Подобраны культуры для выращивания на кислых, опустыненных, загрязненных землях, в том числе виды-фиторемедианты, мелиоранты, эдификаторы и др. В частности, в районах Прикаспия внедрены новые аридные кормовые растения: терескен, кохия простертая и саксаул.

Коллекционные образцы позволяют возобновлять селекцию и возделывание культур, давно снятых с производства. Так, например, вернуться к селекции и выращиванию многих технических культур (рыжик, кок-сагыз, молочай масличный, клещевина, крамбе, индау и др.), интерес к которым вновь появился в связи с проблемами новых видов сырья, альтернативных видов топлива, натурального каучука, незамерзающих смазочных масел, стало возможным только благодаря коллекции ВИР.

Только за последние пять лет ВИР размножил 415662 образцов коллекции, изучил – 84357 и передал 106044 образцов российским и зарубежным селекционерам и другим пользователям для их изучения и использования на безвозмездной основе.

В коллекции ВИР представлено мировое разнообразие пшеницы (род *Triticum* L.), его ближайшего родича эгилопс (род *Aegilops* L.) и синтетической культуры тритикале (*Triticale* Wittm.).

Коллекцию **пшеницы** начали собирать с 1901 г. Огромное мировое разнообразие этой культуры было собрано экспедициями ВИР в 1920-1940 г. при организации и непосредственном участии в них Н.И. Вавилова. В 1950-1980-ые годы процесс формирования коллекции пшеницы был продолжен благодаря активному обследованию уже послевоенным поколением сотрудников ВИР первичных и вторичных центров происхождения и разнообразия культурных растений. С конца 1990-х г. основное внимание уделяли сохранению коллекции при небольшом, но стабильном росте ее численности и расширении генетического разнообразия для использования в селекционных программах.

В мире общее число сохраняемых в живом виде образцов пшеницы составляет почти 800 тыс. образцов. Россия наряду с Мексикой, США, Италией и Австралией обладает одной из пяти наиболее значимых по генетическому разнообразию и крупных коллекций пшеницы.

Сбор образцов *тритикале* специалистами ВИР начат в 1954 г. С 1977 г. коллекция этой культуры стала самостоятельной. По экспертным оценкам в мире хранится около 16000 образцов тритикале. Из них почти 12000 образцов размещены в 23 генбанках 18 стран Европы. Наиболее важными признаны коллекции тритикале ВИР и Международного центра по селекции кукурузы и пшеницы (СИММУТ), Мексика.

Коллекция характеризуется также широким географическим и экологическим разнообразием образцов. Она содержит материал почти из 100 стран Европы, Азии, Африки, Америки и Австралии.

Коллекция тритикале ВИР состоит из 4080 образцов из 49 стран мира и 15 российских регионов.

Овес, рожь, ячмень. Коллекции составляют 36885 образцов (рожь – 3310, ячмень – 20653, овес – 12922). В том числе в основном каталоге 33451 образец (рожь – 3203, ячмень – 17846, овес – 12402).

Коллекция **ячменя** четвертая в мире по количеству образцов (после Великобритании, Канады и США), и вторая в Европе (после Великобритании). Коллекция по овсу – занимает третье место в мире после Канады и США и первое место в Европе, почти в три раза превышая объединенную коллекцию Германии (после объединения двух генных банков в Германии). Коллекция **ржи самая крупная в мире**.

Наибольшую ценность мировая коллекция ВИР представляет наличием в ней большого числа местных образцов, собранных в довоенный период Н. И. Вавиловым и его соратниками (овес – 4224 обр., ячмень – 3288 обр.). Кроме этого, определенный селекционный интерес представляют большое разнообразие селекционных сортов и

линий, собранных сотрудниками ВИР за почти 100-летнюю историю в различных странах мира.

Крупяные культуры. **Кукуруза.** В настоящее время коллекция кукурузы и генетически маркированных мутантов кукурузы ВИР включает более 14800 образцов из 92 стран мира и 4 дикорастущих родича.

Уникальностью коллекции кукурузы служит то, что около 40% образцов были собраны в довоенный период (1912-1940 гг.). Данные образцы служили первоисточниками и прародителями многим известным ценным линиям. 20% образцов коллекции кукурузы были собраны до 1960 г. В основном, это самоопыленные линии кукурузы США, местные сорта Юго-Восточной Азии, Европы, Латинской и Центральной Америки, которые утрачены в этих регионах в связи с селекционными работами, и обладающие полезными признаками и свойствами. В настоящее время существует около 35 генбанков по сохранению коллекций кукурузы. В Европе большие коллекции кукурузы сосредоточены в Румынии (8051 обр.), Франции (7400 обр.), Португалии (6373 обр.), Югославии (5466 обр.), Болгарии (5412 обр.). Коллекции кукурузы на американском континенте имеются в Мексике (СИММИТ- 11000 обр.), США – около 8000 обр., но эти коллекции начали формировать в своих странах только во второй половине 20 столетия, поэтому коллекция ВИР наиболее старая.

Коллекция *гречихи* ВИР насчитывает в постоянном каталоге 2210 образцов. В видовом отношении основная часть коллекции – образцы гречихи посевной. В географическом плане в коллекции представлены все страны мира, регионы и области бывшего СССР, в которых возделывалась или возделывается гречиха. Коллекция гречихи ВИР самая многочисленная, за ней следуют коллекции: Китая (1551 обр.), Чехии (136 обр.) и Словении (380 обр.). В Японии (510 обр.), Индии (583 обр.), Корее (441 обр.) и Канаде (500 обр.) коллекции гречихи сформировались в последние 20 лет в результате интенсивных экспедиционных сборов в центре происхождения гречихи – Южном Китае, Тибете и на фермерских полях Японии, Китая и Индии. Уникальность коллекции гречихи России заключается в том, что преобладающее число образцов является местными популяциями или староместными сортами России, Украины, Белоруссии, Китая и других стран, привлеченными как до 1941, так и до 1960-1970 годов, т.е. до начала деятельности других генбанков.

Коллекция *риса* ВИР формируется с 1920 года и, к настоящему времени, насчитывает 5165 образцов. Образцы коллекции интродуцированы из 80 стран. Наиболее редкая группа образцов (589) поступила в ВИР до 1941 года и 782 образца –

до 1970 года. Таким образом, 1371 образец риса коллекции ВИР (в т.ч., 270 обр. – из Китая, Индии, Японии, Кореи и Филиппин) был собран и сохранен до начала активной деятельности Международного института риса.

Самая крупная коллекция риса сохраняется в Международном институте риса (Филиппины) – 80 000 образцов и ее численность предполагается довести до 130000 образцов за счет передачи образцов из коллекций Индии и Китая, а также экспедиционных сборов в Таиланде, Бирме, Лаосе и др.

Мировой генофонд *проса* ВИР представлен сортами, линиями, местными популяциями и составляет в настоящее время 9061 образец из 60 стран мира. Этот самая большая коллекция в мире.

Зерновые бобовые культуры. В состав коллекции входят все основные зернобобовые культуры, широко возделываемые в мире. Экономически значимые для нашей страны: горох, соя, фасоль, вика, люпин, бобы, чечевица, нут, чина. Перспективна для производства вигна. В коллекции 251 вид. Виды российской флоры включены в коллекцию примерно на 90%. Многие дикие виды перспективны для введения в культуру.

Первые поступления в коллекцию ВИР – 1896 г. (Франция) и 1902 г. Однако официальное начало коллекции зернобобовых положили сборы Н.И.Вавилова в Персии и на Памире в 1916 году.

Картофель. Коллекция картофеля ВИР насчитывает 8485 образцов, в т.ч.: селекционные сорта – 2100 образцов; дикорастущие виды (176 видов) – 2640; культурные виды (8 видов) – 3500; дигаплоиды и межвидовые гибриды – 560.

Первые образцы коллекции были привезены из экспедиции, организованной по инициативе Н.И. Вавилова в Южную Америку в 1926–1927 гг. Сегодня мировой научной общественностью признано, что российские ученые были первооткрывателями видового разнообразия картофеля и его значения для селекции. Собранный и изученный материал позволил открыть новую эру в селекции этой культуры.

В 1925 году коллекция насчитывала уже 500 сортов и была самой полной в мире. Около 900 образцов селекционных сортов, диких и культурных видов картофеля коллекции ВИР являются уникальными, т.к. не содержатся больше ни в одном банке мира. Более 370 стародавних сортов Европы и США сохранились только в коллекции ВИР. ВИР входит в Ассоциацию крупнейших 15 генбанков картофеля мира (APIC), с которыми постоянно сотрудничает в области сохранения, мобилизации, обмена и использования генетических ресурсов в селекции.

Овощные и бахчевые культуры. Коллекция насчитывает 50088 образцов, в т.ч. 34453 образца в постоянном каталоге. Ботанический состав её представлен 476 видами 146 родов. Наибольшую ценность представляют староместные и селекционные сорта овощных и бахчевых культур, привлеченные Н.И.Вавиловым и его соратниками начиная с 1928 года из-за рубежа и территории бывшего СССР. Знакомство с зарубежными коллекциями показало, что они узко специализированные, отвечающие требованию сельскохозяйственного производства. В Германии преобладают капуста, салаты и спаржа; в Италии – томат, кабачок, мангольд; во Франции – томат, шпинат, луки и др. В ряде стран не сохранились стародавние местные сорта и они находятся только в коллекции ВИР.

Фруктовые культуры. В настоящее время мировая коллекция фруктовых культур ВИР насчитывает 18773 образца, в том числе: фруктовых 13344, ягодных 3931, орехоплодных растений 133 и винограда 3031 (основной каталог - 350), а так же коллекция декоративных культур - 1587 образцов. Они относятся к 243 видам и 20 ботаническим родам. Основой коллекции являются генотипы дикорастущих видов, местные стародавние сорта, а также лучшие современные сорта косточковых культур.

В результате в опытной сети ВИР была собрана уникальная коллекция фруктовых, ягодных, орехоплодных, субтропических, декоративных культур и винограда, включавшая дикорастущие виды, местные и зарубежные сорта.

Крупнейшие коллекции генетических ресурсов фруктовых культур хранятся в генбанках США и Китая. Сеть китайских генбанков находится в стадии становления и на сегодняшний день занимается мобилизацией и выстраиванием системы сохранения.

Другой важной составляющей уникальности коллекции фруктовых культур ВИР состоит в том, что изначально в самом начале ее создания одним из основных критериев для оценки образца была выбрана устойчивость к абиотическому стрессу и, в частности, зимостойкость, поскольку именно зимостойкостью в большинстве случаев определяется сортовой состав возделываемых в России фруктовых культур. ВИРовская коллекция содержит сорта, виды, формы подходящие для выращивания именно на территории России.

Кроме того, в коллекции ВИР имеются и *Кормовые культуры, Масличные и прядильные культуры*, коллекция *подсолнечника* (составляет 2805 образцов и занимает второе место в мире. Самая крупная коллекция подсолнечника хранится в генбанке США), *льна* (является самой большой в мире (6252 обр.), коллекция *конопли* (560 образцов – единственная в мире, поэтому все образцы оригинальны), *хлопчатника* (

ВИР относится к наиболее крупным в мире и содержит 6506 образцов. Она уступает лишь коллекции США – 8800 образцов и Китая – 7000 образцов), коллекция *арахиса* (составляет 1200 образцов. Это третья по величине коллекция, две более крупные хранятся в генбанках Индии и Кореи).

Значимость коллекционного материала ВИР для отечественной селекции, производства продовольствия и развития сельского хозяйства трудно переоценить. На полях страны в настоящее время возделывается около 80% сортов и гибридов с.-х. культур, выведенных с использованием коллекционных образцов, источников и доноров селекционно-ценных генов, полученных в результате скрининга и комплексного изучения коллекции. В России – это единственный генный банк растительных ресурсов, собранных со всех континентов Земли, который служит стратегической базой эффективного стабильного развития не только сельского хозяйства, но и всех отраслей экономики и социальной сферы.

7.7.3 Коллекции клеточных культур (ИНЦ РАН)

Развитие наиболее важных и перспективных фундаментальных и прикладных исследований в области молекулярной и клеточной биологии неразрывно связано с широким использованием культур клеток человека и животных.

Такие центральные общебиологические проблемы как дифференцировка, канцерогенез, клеточная подвижность, пролиферация, передача наследственной информации, регуляция экспрессии генов и другие решаются, в основном, на клеточных культурах. Клеточные культуры имеют также большое значение для решения прикладных задач медицины, сельского хозяйства, биотехнологии и биологической промышленности. К их числу следует отнести массовое промышленное производство вакцин и физиологически активных соединений, получение моноклональных антител методами гибридомной технологии, лечение тяжелых заболеваний методами генотерапии и клеточной заместительной терапии, повышение продуктивности сельскохозяйственных животных и, наконец, сохранение биоразнообразия генофонда путем криоконсервации соматических и половых клеток живых организмов.

Любые фундаментальные и прикладные исследования, проводимые на клеточных культурах, а также развитие биомедицинских технологий могут осуществляться только при условии использования фондов Коллекций клеточных культур. Клетки в культуре подвержены высокой наследственной изменчивости при длительном культивировании под действием меняющихся условий внешней среды. Успешное сохранение исходных или направленно измененных свойств клеточных линий достигается путем соблюдения строго

выдерживаемых условий культивирования и криоконсервации клеточных линий. Поддержание исходных свойств клеток и контроль за их состоянием осуществляют Национальные коллекции разных стран, создание которых происходило, в основном, во второй половине 20 века.

Наиболее крупной мировой коллекцией является Американская коллекция типовых культур – ATCC (www.atcc.org). Создана Европейская коллекция клеточных культур животных (www.hpacultures.org.uk/collections/ecacc.jsp). Бурное развитие биоиндустрии и стремительно возрастающая ценность клеточных линий с сопутствующим ограничением международного распространения клеток, имеющих практическое применение, стимулировало создание в течение последних десятилетий ряда новых Национальных коллекций клеточных культур в Германии, Англии, Японии, Китае, Франции, Италии, Дании. Таким образом, Национальные коллекции становятся сейчас областью государственных и деловых интересов.

В СССР Всесоюзная, а затем Российская коллекция клеточных культур была образована в 1978 году в соответствии с решением Междуведомственного совета по проблемам молекулярной биологии и молекулярной генетики при Государственном комитете Совета министров СССР по науке и технике и Президиуме Академии наук СССР. 13 февраля 1981 года за № 24/25/13 Государственный Комитет СССР по науке и технике, Госплан СССР и Президиум Академии наук СССР утвердили решение о создании Всесоюзной коллекции клеточных культур, головной организацией был утвержден Институт цитологии АН СССР, а коллекция культур клеток позвоночных (КККП) ИНЦ РАН была утверждена Центральным банком Российской коллекции клеточных культур. В разные годы Коллекция являлась членом Европейского Общества

Тканевых Культур(ETCS), Всемирной Федерации Коллекций Культур и Европейской Организации Коллекций Культур(ECCO). Информация о фондах Коллекции представлена в Международном Каталоге линий Human and animal cell lines catalogue, 1993 (Interlab. Project); Cell line banks and their role in cancer research, 1996 (J. Cell. Biochem. Suppl. 24: 107–130). В США, Англии, Германии, Японии, Италии, Китае и других странах Национальные коллекции клеточных культур существуют благодаря целевой финансовой поддержке со стороны правительства. Кроме того, коллекции получают финансовую поддержку от частных фирм. В России финансовые целевые программы поддержки коллекций в настоящее время отсутствуют. Финансовая поддержка необходима для постепенного обновления комплекса оборудования (около 40 позиций), приобретения для постоянной работы КККП расходных материалов.

В настоящее время в фондах КККП содержится около 160 клеточных линий человека и разных видов животных, а также более 750 гибридом и авторских клеточных линий, депонированных в связи с процедурой патентования, которые представлены в виде 200 000 ампул, хранящихся в криобанке в жидком азоте.

Основные задачи, решаемые в процессе работы Коллекции, следующие:

1). Развитие и непрерывное поддержание фондов Коллекции путем сбора, выведения, паспортизации и хранения клеточных линий человека и животных. Расширение фондов Коллекции культур клеток позвоночных ИНЦ РАН всегда определялось запросами фундаментальных исследований и практическими задачами здравоохранения. В связи с этим в последнее время большое внимание уделяется получению и характеристике клеточных линий, перспективных для использования их в диагностике и биомедицинских технологиях. Так, ведется работа по получению постоянных линий эмбриональных стволовых клеток (ЭСК) человека, по получению неиммортизированных линий мезенхимных стволовых клеток человека из разных источников.

2). Паспортизация клеточных линий, согласно требованиям Международной федерации коллекций культур, включает: описание условий культивирования и криоконсервации, определение жизнеспособности клеток и их морфологии, видовую идентификацию клеточных линий с помощью кариологического и изоферментного анализа, микробиологический контроль клеточных линий (помимо классических микробиологических методов контроля, для определения микоплазменной контаминации применяется метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) с использованием специфических праймеров к рибосомальному гену микоплазм). Работы по получению новых линий как ЭСК, так и неиммортизированных клеточных линий человека требуют использования специальных методов культивирования и характеристики. К таким методам, в частности, относятся проточная цитофлуориметрия, иммунофлуоресцентный, цитохимический, кариологический и молекулярно-биологический анализы.

3). Постоянное совершенствование работы с коллекционными клеточными культурами на основе проведенных многолетних научных исследований, посвященных изучению влияния условий культивирования, криоконсервации и контаминации на генетическую изменчивость клеточных линий.

4). Депонирование уникальных клеточных линий и гибридом, патентуемых в связи с их практической ценностью.

5). Создание информационных баз данных по клеточным культурам и постоянно действующей службы информации путем регулярного издания информационного

бюллетеня. В 1999 году выпущен расширенный каталог Российской коллекции клеточных культур на русском и английском языках объемом 429 страниц. Каталог был переиздан в 2004 году в связи с большим спросом на представленную в нем информацию. В настоящее время данные о фондах Коллекции, включая список депонированных клеточных линий, размещены в Интернете на сайте Института цитологии, где они регулярно обновляются. Электронный адрес: www.cytspb.rssi.ru

б). Обеспечение КККП как Центром коллективного пользования научных и прикладных исследований в России и странах СНГ стандартными клеточными линиями. Интерес к фондам Коллекции не ослабевает в течение длительного времени. Ежегодно из фондов Коллекции выдается более 180 образцов клеточных линий в учреждения России и стран СНГ (Украина, Белоруссия, Армения, Грузия, Узбекистан, Казахстан). Около 40% образцов выдается в учреждения Санкт-Петербурга (около 30 организаций), столько же 42 учреждениям Москвы

В качестве примера приведен перечень ряда научных задач, для решения которых в ИНЦ РАН используют коллекционные клеточные линии КККП: изучение закономерностей кариотипической изменчивости в клеточных культурах при длительном культивировании; изучение апоптоза и белков тепло-вого шока; изучение роли актинового цитоскелета и актин-связывающих белков в проведении внеклеточных сигналов в ядро и исследование функций белков цитоскелета в ядре; Выявление молекулярных механизмов формирования сократительных структур немышечных клеток и динамики их взаимодействия с сигнальными системами в культивируемых клетках под влиянием микроокружения. Исследование роли цитоплазматических мультимолекулярных белковых комплексов, содержащих актин-связывающие белки, в процессах реорганизации актинового цитоскелета; изучение структурно-функциональных связей в актине и роли актин-специфических протеаз в инвазии бактерий в клетки эукариот; изучение состава внеклеточного матрикса, его пространственной организации и механизмов ремоделирования, оказывающих влияние на пролиферацию и дифференцировку клеток в культуре; разработка количественных параметров клетки (площадь, периметр, коэффициенты распластывания и поляризации, скорость роста клеточных популяций, длительность клеточного цикла и др.) для характеристики и анализа популяций клеточных линий; изучение влияния антиоксидантов на структуру внеклеточного матрикса и функции клетки; изучение влияния мезенхимных стволовых клеток эмбриона человека на пролиферацию клеток глиом, эффект межклеточных взаимодействий; исследование дифференцировочного потенциала мезенхимных стволовых клеток человека разного происхождения и т.д.

7). Оказание научно-методической помощи сотрудникам научных учреждений страны по методам культивирования и анализа клеточных линий путем проведения стажировок, а также путем издания методических руководств, проведения конференций, совещаний и школ.

В качестве примера, иллюстрирующего п. 6. представлен Список учреждений-потребителей образцов клеточных линий Коллекции культур клеток позвоночных (ИНЦ РАН) за 2004 – 2013 гг.

Санкт-Петербург: Институт цитологии РАН; Институт акушерства и гинекологии им. Д.О.Отта РАМН; Институт экспериментальной медицины РАМН; Больница св. Георгия МЗ РФ; Институт гриппа РАМН; Институт растениеводства РАСХН; Фирма “Иммунобиосервис”; Петербургский институт ядерной физики РАН; Гос. мед. университет им. И.И. Павлова и др. (Около 30 учреждений).

Москва: МГУ им. М.И. Ломоносова; Российский Онкологический центр РАМН; Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН; Институт биологии развития им. Н.К.Кольцова РАН; Сельскохозяйственная академия РАСХН; НИИ физико-химической медицины ФМБА; Институт молекулярной генетики РАН; Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН; Медико-генетический научный центр РАМН; Онкологический центр МЗ РФ; Институт биохимии им. Баха; Московский физико-технический институт РАН; НИИ вирусологии им. Д.И. Ивановского РАМН; НИИ канцерогенеза РАМН; Медицинская академия им. И.М.Сеченова; Институт вакцин и сывороток им. И.И.Мечникова РАМН; Институт эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи МЗСР РФ; Центр «Биоинженерия»; Гематологический НЦ РАМН; Российский кардиологический НПК МЗ РФ и др. (около 45 учреждений).

Кроме того, образцы клеточных линий поставляются в другие регионы России, страны СНГ, как то, Владимир, Владивосток, Тюмень, Новосибирск, Харьков, Киев, Дубна, Казань, Обнинск, Петрозаводск, Екатеринбург, Тбилиси, Минск, Астана, Ереван, Ташкент и др. (в 17 регионов и 33 учреждения).

7.7.4 Создание центра микробиомных исследований и автоматизированного криохранилища патогенных микроорганизмов и индивидуальных микробиоценозов человека.

Целью данного проекта является создание первого в Северо-Западном Регионе РФ автоматизированного криохранилища микроорганизмов как центра по мониторингу возбудителей бактериальных инфекций, а также хранению индивидуальной микробиоты пациентов для последующей разработки пробиотических препаратов (в том числе аутопробиотиков) на базе ФГБУ «НИИЭМ» СЗО РАМН.

Задачами центра являются:

- 1) Формирование коллекции бактериальных штаммов и индивидуальных микробиоценозов и поддержание ее в функциональном состоянии
- 2) Аналитическая научно-исследовательская работа по мониторингу штаммов-возбудителей бактериальных инфекций на предмет изучения доминирующих в том или ином бактериальном возбудителе факторов патогенности, типов антибиотикоустойчивости, а также спектров фагорезистентности
- 3) Оказание услуг по депонированию, изучению биологических свойств и предоставлению заинтересованным организациям тест-штаммов патогенных микроорганизмов
- 4) Периодическое освещение результатов исследования в научной литературе
- 5) Консультирование клинических подразделений региона и фармацевтических компаний- производителей вакцин и антимикробных препаратов на предмет подбора оптимальных лечебных и профилактических средств, эффективных в условиях Северо-Западного региона
- 6) Оказание услуг для по хранению индивидуальной микробиоты и приготовлению индивидуальных аутопробиотических препаратов на основе сохраняемых бактериальных штаммов
- 7) Осуществление научных исследований, позволяющих характеризовать индивидуальный микробиом лиц, проживающих в Северо-Западном регионе, а также оптимизировать аутопробиотическую или пробиотическую терапию
- 8) Проведение научных исследований по изучению различных типов микробиоты (в частности, энтеротипов) и дисбиотических состояний в качестве факторов риска инфекционных и неинфекционных заболеваний
- 9) Проведение фундаментальных исследований в области биоразнообразия и эволюции представителей микробиоты человека

Организационная структура центра микробиомных исследований

Очевидно, что центром микробиомных исследований станет новая научно-исследовательская лаборатория, целью которой станет проведение комплекса инновационных исследований, направленных на изучение структуры микробиоценозов населения в условиях нормы и патологии с целью осуществления своевременной и эффективной терапии заболеваний инфекционного и неинфекционного характера. Создаваемое при центре хранилище штаммов должно быть автоматизированным, роботизированным и компьютеризированным. Автоматизация хранения штаммов позволит избежать ошибок при депонировании, контаминации образцов, потери жизнеспособности бактерий, возможность отслеживания каждого элемента коллекции в системе Интернет, что позволит иметь полную информацию о состоянии образцов каждому учреждению или индивидуальному пользователю услуги депонирования штаммов.

Заинтересованные организации и возможные партнеры

В создании Центра заинтересованы многие научно-исследовательские и медицинские учреждения Региона как из числа учреждений СЗО РАМН, так и находящихся в подчинении других ведомств. В настоящее время заинтересованность в функционировании центра высказали представители НИИ акушерства и гинекологии, СЗО РАМН, I Медицинского университета, НИИ детских инфекций, Северо-Западного медицинского университета имени Мечникова, ВЦИЭРМ МЧС России и ряд других. В ходе выполнения работы будет осуществлен анализ существующей научной литературы, посвященной проблеме микробиоты, микроэкологии человека, изучению патологических процессов, обусловленных нарушениями в микробной экологии и поиску новых подходов к профилактике и терапии дисбиотических состояний.

Результатом работы является подготовленный обзор научной литературы с анализом состояния научных данных и магистральных научных направлений связанных с микробиотой человека, а также подготовка предложений по созданию криохранилища, создание которого позволит более продуктивно решать научные и медико-биологические задачи, связанные с изучением микробиоценозов человеческого организма и дисбиотическими состояниями, что в потенциале позволит оптимальным образом развивать данное направление медико-биологической науки. Результатом работы является также активизация исследований и определение объемов адекватного финансирования, чтобы остановить намечающееся отставание исследований в России в данном направлении.

Рекомендации по внедрению

Целесообразным в настоящее время является создание Центра Микрoэкологии человека с правами Института с целью проведения комплекса исследований, направленных на изучение структуры нормальных микробиоценозов в организме здоровых людей, а также на изучение состояния микробиоценозов в условиях инфекционной и неинфекционной патологии. Целесообразным является разработка инновационных подходов к профилактике и терапии инфекций нозокомиальной природы с применением новых рекомбинантных вакцин и инновационных терапевтических подходов.

В частности предполагается осуществление работ по созданию новых микробных препаратов-пробиотиков, обладающих узким спектром лечебного действия как в плане подавления конкретных видов патогенов, так и для лечения определенных иммунопатологических или нейродегенераторных заболеваний.

Для целей работы центра рекомендуется создание автоматизированного криохранилище микробиоты здоровых добровольцев и пациентов с различными инфекционными и неинфекционными заболеваниями. В хранилище будут также систематизировано сохраняться штаммы возбудителей оппортунистических инфекций, циркулирующих в Российской Федерации.

Для анализа микробиома пациентов будут осуществляться метагеномные исследования с применением секвенаторов нового поколения и последующей биоинформатической обработкой. Изучение свойств новых про- и аутопробиотических препаратов будет осуществляться с использованием культуральных, спектрометрических и биохимических методов.

Обязательным компонентом исследования станет работа с лабораторными животными по созданной в ходе предыдущих исследований методологии. Создание вакцинных препаратов будет осуществляться на основе предварительного молекулярного моделирования потенциальных антигенных детерминант, ДНК-синтеза химерной конструкции.

Созданный центр микрoэкологии станет точкой кристаллизации научных исследований в области микробиоты человека в России и позволит создавать региональные центры такого рода во всей стране. В научно плане работа центра позволит получать приоритетные научные данные и публиковать их в высоко рейтинговых журналах. Практическим выходом от создания центра микробиотных исследований станет предоставление услуги населению по хранению и анализу индивидуальной микробиоты с

целью наработки персонифицированных микробных консорциумов и использования их в лечебных целях в случае развития дисбиотических состояний.

Область применения

Результаты работ будут применены в фундаментальных научных исследованиях, посвященных проблеме микробиоты, микроэкологии человека, изучению патологических процессов, обусловленных нарушениями в микробной экологии и поиску новых подходов к профилактике и терапии различных отраслях медицины, что позволит существенно снизить общую заболеваемость населения.

Создание криохранилища микробных штаммов и индивидуальных микробиоценозов минимум на 10000 единиц хранения, обеспечит услугой получения персонифицированных микробных препаратов помимо лиц, которым предстоит интенсивная терапия антибиотиками, химиопрепаратами, оперативные вмешательства, сотрудников учреждений, работа которых сопряжена со стрессом (МЧС, военные, полиция и др.), а также широкого круга населения, заинтересованного в терапии аутопробиотиками.

Микробиота человека, значение которой длительное время недооценивалась, является важнейшим экстракорпоральным органом, в сотни раз превосходящим по количеству клеток и размеру генома остальной организм. В последнее время с появлением новых молекулярных технологий стало понятно, что восстановление здоровья человека невозможно без коррекции нарушений микробиоценоза, который является индивидуальным для каждого отдельного человека. Данное понимание привело к развитию новых технологий, направленных на сохранение индивидуальных микробиоценозов с целью их изучения, и по возможности, использования в целях терапии. Криоконсервация в мире и России длительное время ограничивалась сохранением линий стволовых клеток, спермы и пуповинной крови. В частности в Санкт Петербурге имеется несколько таких хранилищ: «Крио Центр» (www.cryocenter.ru), «Покровский банк стволовых клеток» (www.pokrov.spb.ru), «Транс технологии» (www.trans-t.ru) и ряд лдругих. Однако центров хранения микробиоты ни в Петербурге, ни в России нет. Единственным инициативным проектом по сохранению индивидуальной микробиоты является проект в США – «Американская кишка». Аналогичный проект готовится к запуску Евросоюзом. При этом несомненно, что данные исследования неизбежно будут интенсифицироваться и развиваться в самом недалеком будущем.

Концептуальный и технологический кризис современных подходов к лечению инфекционных и большинства неинфекционных заболеваний человека определил

необходимость поиска новых экологических подходов к терапии и профилактике заболеваний.

Экзо- и эндоэкологические изменения в мире и в самом человеческом организме приводят к формированию нового мышления, основанного на видении человека как сложного организма, тесно связанного как с внешним миром, так и его микроэкологией.

До последнего времени значение мира микроорганизмов в жизни человека глобальным образом недооценивалось, а сами микроорганизмы рассматривались исключительно в качестве возбудителей инфекций. С появлением новых технологий, в первую очередь, связанных с секвенированием ДНК, исследователям открылся мир ранее неизвестных или почти неизвестных микроорганизмов, которые во многом определяют само существование человека и функционирование его органов и систем. Микробиота человека составляет сложную и высоко индивидуальную структуру микробных сообществ, совокупный геном которых в сотни раз превосходит геном человека. Недооценка значения состояния микробиоты клиницистами во многом обусловила широчайшее распространение дисбиотических состояний, большинство из которых носит ятрогенный характер. Так, например, неверное употребление в терапии антибиотиков привело к повсеместному росту таких патологических состояний как метаболический синдром (диабет, гипертония, ожирение), аллергозов, воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Дисбиозы являются триггером большинства современных заболеваний человека. То же относится и к инфекционной патологии, когда неверное употребление антибиотиков привело к небывалому росту нозокомиальных инфекций, вызванных эндогенными штаммами бактерий (стафилококков, энтерококков, ацинетобактера) с приобретенной множественной лекарственной устойчивостью. Это усугубляется возникшим кризисом современной фармацевтической науки, оказавшейся неспособной создавать новые антибиотики. Все это обусловило необходимость поиска принципиально новых решений и создания новых научных направлений, связанных с изучением и поиском путей коррекции микробиоценозов.

Научная проблема, решаемая в рамках данного направления, заключается в изучении комплексной микробиоты человека в различных участках организма в норме и в условиях патологии с последующим созданием принципиально новых терапевтических подходов, основанных на восстановлении естественного микробиоценоза. Предлагается разработать ряд инновационных подходов, направленных на быстрое восстановление индивидуальной микробиоты с использованием гетерогенной (пробиотики) или индигенной (аутопробиотики) микробиоты, направленных на адресную вакцинальную профилактику инфекций. Созданные подходы позволят осуществлять адресную

микробную терапию инфекций пробиотиками, профилактику инфекционных осложнений, обусловленных оппортунистической микробиотой, терапию широкого круга неинфекционных заболеваний. Отдельной актуальной задачей является создание централизованной, автоматизированной системы хранения индивидуальной микробиоты и актуальных возбудителей оппортунистических бактериальных инфекций. Сложность и многосторонность поставленной задачи требует коллективных усилий крупной многопрофильной научно-исследовательской структуры Университетского типа как ФГБУ «НИИЭМ» СЗО РАМН.

Актуальность и масштабность научной проблемы

Существование человека как вида всегда происходило в окружении и с непосредственным участием микроорганизмов. В результате эволюции этих взаимоотношений сформировался тонкий, но тщательно регулируемый баланс между эндогенной микробиотой человека и ее носителем, а также между окружающим миром микроорганизмов и самим человеком. Наивные взгляды прошлого, представляющие отношения человека с миром микробов с позиций паразит-хозяин до сих пор владеют общественным сознанием и определяют идеологию гигиенических и лечебных мероприятий органов здравоохранения. Инфекции в острой или хронической форме действительно являются первопричиной подавляющего большинства заболеваний человека, включая заболевания сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта и онкологические заболевания. Изменившаяся структура инфекционной заболеваемости к началу 21 века с появлением новых бактериальных и вирусных возбудителей, устойчивых к большинству лекарственных препаратов, ставит сложнейшие и часто неразрешимые задачи для лечащего врача. Существующие подходы к лечению инфекционных заболеваний часто не учитывают особенности возбудителя, что приводит к неуспешному лечению и формированию новых лекарственно устойчивых форм. Не учитываются и особенности воздействия использованных средств на организм хозяина, что приводит к нарушениям микроэкологии самого пациента – дисбиозам. При этом антагонистические отношения человека с микроорганизмами составляют существенную, но незначительную часть сложнейших взаимосвязей мира про- и эукариот. Понимание данных закономерностей позволит существенным образом продвинуться в формировании новых персонифицированных подходов к терапии и профилактике многих заболеваний человека. В проекте предлагается проведение комплекса научно-исследовательских работ, включающих исследования микробиоты человека в норме и при различных патологиях, изучение индивидуальных особенностей взаимодействия людей, обладающих различной организацией генома, с микробиотой и особенностей воздействия на микробиоту человека

его различных белковых факторов, а также создание автоматизированного центра хранения микробиоты.

Научная новизна

Научная новизна поставленной задачи заключается в том, что в данном направлении мировой науки исследователям в области микробиологии предоставляется уникальный шанс приобрести новые и приоритетные фундаментальные знания. За последние несколько лет с одной стороны появились новые методические возможности изучения генома, метаболома и протеома человека и бактерий в первую очередь методами секвенирования нового поколения и масс-спектрометрии, а с другой стороны, появилось понимание огромной роли микробиоты в поддержании и нормального функционирования практически всех органов и систем. При этом приоритет получит та исследовательская группа в мире, которая системно займется заполнением пробелов в знаниях в данной области с использованием новых появившихся недавно методологий. Поэтому результаты выполнения данной программы при должном финансировании неизбежно реализуются в массиве новых фундаментальных знаний, применение которых в практической жизни и медицине приведет к вполне конкретным позитивным социальным и экономическим последствиям. В частности, предполагаемое исследование нормального состояния микробиоты позволит лучше разобраться в региональных особенностях состава микробиоты Российского населения, анализ микробиотного состава при различных патологиях позволит лучше понять пути поиска коррекции исследуемых патологий. Важной частью данного направления станет оценка специфических свойств отдельных микробных штаммов – пробиотиков, что позволит конкретизировать сферы их реального клинического применения.

Другой важной составляющей проекта является возможность с использованием новых знаний о микробиоте и характере формирования и распространения инфекционных патологий осуществлять эффективную диагностику и профилактику социально значимых инфекций путем адресного выявления и контроля актуально значимых возбудителей с использованием новых диагностикумов и рекомбинантных химерных вакцин, позволяющих осуществлять элиминацию конкретных штаммов-возбудителей с определенным набором факторов патогенности. Двумя дополнительными группами исследований в рамках предлагаемого направления является поиск новых способов профилактики и лечения опухолевых заболеваний за счет бактериальных компонентов, а также создание новых диагностикумов на основе бактериальных рецепторных белков.

*Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления
аналогичных исследований в мировой науке.*

Если 20 век во многом можно рассматривать как век терапии антибиотиками, то современная медицина «расплачивается» за чрезмерный энтузиазм, возникший после начала широкого применения антимикробных препаратов. В настоящее время в медицине произошли серьезнейшие изменения как в спектре заболеваемости в целом (выход на первый план сердечно-сосудистых заболеваний, онкологических патологий, заболеваний обмена веществ), так и в спектре инфекционных патологий, во многом вызванных возбудителями, ранее относившимися к малопатогенным (энтерококки, кишечная палочка, эпидермальные стафилококки, стрептококки группы В, пилорический хеликобактер) и обладающими широким спектром лекарственной устойчивости. При этом неадекватная терапия антибиотиками часто сопровождается серьезными дисбиотическими состояниями, вызванными нарушением микробиоты заболевших. Так, серьезнейшим осложнением такого рода, приводящим к частым смертельным исходам, является псевдомембранозный колит, вызванный *C. difficile* [1]. Появление и доминирование к настоящему времени инфекционных процессов, вызванных стрептококками, стафилококками, энтерококками обусловило поиск подходов к элиминации не возбудителей как таковых, а определенных генетических линий возбудителей с определенным потенциалом патогенности.

Появление метагеномных технологий и новых методических возможностей молекулярной иммунологии, и спектрометрии позволило переоценить представления о самой микробиоте и о ее значении в функционировании органов и систем. Если ранее микробиота или, в первую очередь, ее часть, представленная условно-патогенными бактериями, рассматривались исследователями исключительно как возможные возбудители заболеваний, то в последние годы взгляд на микроорганизмы драматическим образом изменился. Оказалось, что микробиота человека не просто вступает во взаимодействие с потенциальными патогенами, обеспечивая барьерную функцию организма, но и влияет на функционирование иммунной системы [2], на обмен веществ [3,4], на эндокринную систему [5,6], на функционирование сердечно-сосудистой системы [7] и даже на развитие и функционирование центральной нервной системы [8]. При этом было установлено, что микробиота строго индивидуальна, а все человечество может быть кластерировано по типам микробиоты – энтеротипам [9]. Возникшее понимание глобальной и сильно недооцененной ранее роли микробиоты для формирования здоровья и профилактики разнообразных заболеваний человека оживила научный интерес исследователей к использованию средств коррекции микробиоты – живых

микроорганизмов (пробиотиков) или веществ, благотворно влияющих на восстановление микробиоты (пребиотиков). Параллельно микробная терапия стала развиваться в направлении микробной или «фекальной» трансплантации, когда микроорганизмы больному пересаживают от здорового донора [10,11]. Учитывая тот факт, что приведенные выше данные были получены в самом недавнем прошлом и массив знаний находится в фазе накопления, вполне естественно, что пробелов, требующих полноценного научного осмысления куда больше, чем фактического знания. Поэтому развитие предлагаемого научного направления позволит существенно пополнить необходимый багаж фундаментальных знаний, а также позволит сформировать ряд новых подходов, направленных на лечение и профилактику заболеваний человека неинфекционной и инфекционной природы. Учитывая тот факт, что любой инфекционный процесс с позиций микроэкологии представляет собой крайнюю форму дисбиоза, вакцинация профилактики инфекций является важным компонентом устранения микроэкологических нарушений.

В современной вакцинологии доминируют тенденции создания вакцин, против бактериальных инфекций, в которых используются измененные живые или инактивированные возбудители, которые приводят к формированию иммунитета против конкретных видов патогенов. В ряде случаев используют компоненты бактерий, которые либо не дают устойчивого иммунитета, либо позволяют обеспечивать защиту от ограниченного набора серотипов возбудителей. В последнее время все больше возникает работ, в которых предлагается создание рекомбинантных вакцин [12-16].

Очевидно, что направление вакцинации профилактики, основанной на иммуногенных детерминантах патогенных бактерий является магистральным направлением в мировой науке.

Основные мировые научные конкуренты, обоснование конкурентоспособности организации на их фоне. Обоснование вхождения организации в число российских/мировых лидеров по направлению

Основные мировые исследования реализуются в рамках ряда государственных проектов и частных научных проектов, таких как «Микробиом человека» Национального центра Здоровья США <http://commonfund.nih.gov/hmp/index>, MetaHIT, финансируемых Евросоюзом, и «Американская кишка» <http://www.metahit.eu/> <http://humanfoodproject.com/american-gut/> и частных научных проектов, таких как «Микробиом земли» <http://www.earthmicrobiome.org/>. При этом на мировом фоне Российские исследования выглядят достаточно слабо и не носят четкой медицинской направленности. Наиболее серьезные исследования по анализу метагенома микробиоты в

России проводятся в НИИ Физико-химической медицины, однако на фоне масштабных зарубежных исследований в данной области их результаты уступают западным конкурентам. Основные исследования фундаментального характера сконцентрировались в университетских центрах США и Европы (Швейцарии, Германии, Швеции, Дании). Причин оправданности конкурентных возможностей ФГБУ «НИИЭМ» СЗО РАМН несколько.

- В России, начиная с работ И.И. Мечникова практически без перерыва в исследованиях, происходившего в США и западной Европе начиная с 30-годов прошлого века, проводились исследования в области разработки и оценки клинической эффективности микробных и безмикробных препаратов, благотворно влияющих на микробиоценоз человека. Лечебных препаратов – пробиотиков с длительной историей оценки их клинической эффективности нет ни в одной стране мира, кроме России (и ряда бывших республик СССР). В Институте экспериментальной медицины в отделе молекулярной микробиологии накоплен 40-летний опыт работы с различными возбудителями заболеваний, вызванных стрептококками различных групп с применением самых современных методов молекулярной генетики, иммунохимии и генетической инженерии. Осуществлено секвенирование геномов двух штаммов стрептококков и трех штаммов энтерококков. Разработана методология создания рекомбинантных вакцин, адресующих протективные антитела к поверхностным факторам патогенности возбудителей инфекций [17, 18, 21, 22].
- В «НИИЭМ» создано новое направление по изучению свойств пробиотиков, охарактеризованы и запатентованы штаммы пробиотиков на основе лактобацилл и энтерококков, проведены углубленные исследования ряда штаммов-пробиотиков на предмет наличия в штаммах генов антимикробных пептидов, определен спектр антимикробной активности штаммов, разработана методология оценки влияния пробиотиков на микробиоту, обмен веществ и иммунную систему хозяина [19,20]..
- Налажены тесные связи «НИИЭМ» с клиниками Санкт-Петербурга, позволяющие оценить клиническую эффективность пробиотической терапии дисбиотических состояний и инфекционных патологий в гастроэнтерологии. Совместно с ведущими клиницистами разработаны уникальные алгоритмы лечения пациентов с использованием пробиотиков и индигенных штаммов – аутопробиотиков [22].

Идеологическим преимуществом предлагаемого проекта по сравнению с конкурентами является возможность сконцентрировать усилия на эффектах персонализированной терапии дисбиотических состояний аутопробиотическими

препаратами. При этом потенциальные конкуренты в большинстве пытаются решать проблемы дисбиоза либо уже существующими, но не исследованными препаратами-пробиотиками, либо путем микробной трансплантации, которая, на наш взгляд, имеет большое количество потенциально опасных последствий. Полученные в предварительных исследованиях и в ходе клинических исследований данные показали целесообразность длительного хранения и быстрого приготовления полезных штаммов для нужд пациента.

Предлагаемые методы и подходы решения проблемы

Решение проблемы в рамках предлагаемой программы предполагает широкий комплекс исследований микробиоты людей как здоровых, так и при различных патологических состояниях. Для целей проекта предполагается создать автоматизированное криохранилище микробиоты здоровых добровольцев и пациентов с различными инфекционными и неинфекционными заболеваниями. В хранилище будут также систематизировано сохраняться штаммы возбудителей оппортунистических инфекций, циркулирующих в Российской Федерации. Для анализа микробиома пациентов будут осуществляться метагеномные исследования с применением секвенаторов нового поколения и последующей биоинформатической обработки. Изучение свойств новых про- и аутопробиотических препаратов будет осуществляться с использованием культуральных, спектрометрических и биохимических методов. Обязательным компонентом исследования станет работа с лабораторными животными по созданной в ходе предыдущих исследований методологии. Создание вакцинных препаратов будет осуществляться на основе предварительного молекулярного моделирования потенциальных антигенных детерминант, ДНК-синтеза химерной конструкции, секвенирования полученных молекул, методов клонирования в экспрессионных векторных системах, методов выделения и хроматографической очистки рекомбинантных белков. Оценка иммуногенности конструкций и протективной эффективности препаратов будет осуществлена на моделях *in vitro* на культурах ткани, а также *in vivo* на различных видах лабораторных животных, у которых будет предварительно вызвано заболевание. Работы по исследованию противоопухолевой активности микробных препаратов будут осуществляться с использованием набора перевиваемых опухолевых линий, вводимых лабораторным животным с последующим мониторингом динамики опухолевого роста.

В результате проведенных работ ожидается:

1. Изучение микробиоты при модельных инфекционных процессах различной локализации (инфекционный вагиноз, острые кишечные инфекции, заболевания и верхних дыхательных путей).

2. Изучение микробиоты человека при различных инфекционных и неинфекционных патологиях (инфекционный вагиноз, острые кишечные инфекции, заболевания носоглотки и верхних дыхательных путей).

3. Изучение генетической гетерогенности и региональных особенностей возбудителей инфекционных заболеваний Грам-положительной и Грам-отрицательной природы на примере возбудителей стрептококковых инфекций вызванных стрептококками группы А и группы В и возбудителя язвы желудка *Helicobacter pylori*.

4. Конструирование рекомбинантных вакцин против возбудителей стрептококковых инфекций, используя экспрессированные в кишечной палочке химерных молекулы, соответствующие поверхностным антигенным детерминантам бактерий.

5. Изучение регуляции экспрессии генов патогенности у возбудителей заболеваний верхних дыхательных путей, пневмониями и летальных инфекций новорожденных стрептококками группы А, группы В, пневмококков.

6. Изучение микробиоты здоровых доноров микробиоты:

А. Микробиота ротовой полости

Б. Микробиота ЖКТ, с целью выявления основных энтеротипов граждан РФ

В. Микробиота урогенитальных органов

7. Создание пробиотиков нового поколения, обладающих специфическими антагонистическими (против конкретных патогенов), иммуномодулирующими (для лечения психических и нейродегенераторных заболеваний и метаболическими свойствами (для лечения диабета, гипертонической болезни, атеросклероза)

8. Создание новых лечебных и диагностических препаратов микробного происхождения. Препараты для терапии иммунопатологических заболеваний стрептококковой природы – ревмокардит, гломерулонефрит, микробные препараты для терапии опухолей на основе живых бактерий, диагностикумы для выявления содержания в биологических жидкостях плазменных белков (альбумин, иммуноглобулины классов А и G)

Список библиографических источников

1. Miller BA, Chen LF, Sexton DJ, Anderson DJ. Comparison of the burdens of hospital-onset, healthcare facility-associated *Clostridium difficile* Infection and of healthcare-associated infection due to methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in community hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2011;32:387–390

2. Hyland NP, Quigley EM, Brint E. Microbiota-host interactions in irritable bowel syndrome: Epithelial barrier, immune regulation and brain-gut interactions. *World J Gastroenterol.* 2014 Jul 21;20(27):8859-8866
3. Turnbaugh PJ, Ley RE, Mahowald MA, Magrini V, Mardis ER, Gordon JI (2006) An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature* 444(7122): 1027–1031,
4. Bruce-Keller AJ, Salbaum JM, Luo M, Blanchard E 4th, Taylor CM, Welsh DA, Berthoud HR. Obese-type Gut Microbiota Induce Neurobehavioral Changes in the Absence of Obesity. *Biol Psychiatry.* 2014 Jul 18. pii: S0006-3223(14)00520-4
5. Tilg H, Moschen AR. Microbiota and diabetes: an evolving relationship. *Gut.* 2014 Sep;63(9):1513-21.
6. Wang X, Ota N, Manzanillo P, Kates L, Zavala-Solorio J, Eidenschenk C, Zhang J, Lesch J, Lee WP, Ross J, Diehl L, van Bruggen N, Kolumam G, Ouyang W. Interleukin-22 alleviates metabolic disorders and restores mucosal immunity in diabetes. *Nature.* 2014 Aug 6. Doi
7. Ito M, Adachi-Akahane S. Inter-organ communication in the regulation of lipid metabolism: focusing on the network between the liver, intestine, and heart. *J Pharmacol Sci.* 2013;123(4):312-7
8. Diaz Heijtz R1, Wang S, Anuar F, Qian Y, Björkholm B, Samuelsson A, Hibberd ML, Forsberg H, Pettersson S. Normal gut microbiota modulates brain development and behavior. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2011 Feb 15;108(7):3047-52
9. Arumugam M, Raes J, Pelletier E, et al. Enterotypes of the human gut microbiome. *Nature* 473: 174_80
10. Petrof EO, Gloor GB, Vanner SJ, Weese SJ, Carter D, Daigneault MC, Brown EM, Schroeter K, Allen-Vercoe E. Stool substitute transplant therapy for the eradication of *Clostridium difficile* infection: ‘RePOOPulating’ the gut. *Microbiome.* 2013;1:3,
11. Marie Céline Zanella Terrier, Martine Louis Simonet, Philippe Bichard, and Jean Louis Frossard Recurrent *Clostridium difficile* infections: The importance of the intestinal microbiota *World J Gastroenterol.* Jun 21, 2014; 20(23): 7416–7423
12. Piao Z, Akeda Y, Takeuchi D, Ishii KJ, Ubukata K, Briles DE, Tomono K, Oishi K. Protective properties of a fusion pneumococcal surface protein A (PspA) vaccine against pneumococcal challenge by five different PspA clades in mice. *Vaccine.* 2014 Aug 12. pii: S0264-410X(14)01090-1. doi: 10.1016
13. Vrushabhendrapa, Singh AK, Balakrishna K, Sripathy MH, Batra HV. Studies on recombinant glucokinase (r-gluc) protein of *Brucella abortus* as a candidate vaccine molecule for brucellosis. *Vaccine.* 2014 Aug 12. pii:

14. Radcliff FJ, Fraser JD, Proft T. Vaccination with *Streptococcus pyogenes* nuclease A stimulates a high antibody response but no protective immunity in a mouse model of infection. *Med Microbiol Immunol*. 2014 Aug 15.
15. Marchioro SB, Fisch A, Gomes CK, Jorge S, Galli V, Haesebrouck F, Maes D, Dellagostin O, Conceição FR. Local and systemic immune responses induced by a recombinant chimeric protein containing *Mycoplasma hyopneumoniae* antigens fused to the B subunit of *Escherichia coli* heat-labile enterotoxin LTb. *Vet Microbiol*. 2014 Sep 17;173(1-2):166-71
16. Orr MT, Ireton GC, Beebe EA, Huang PW, Reese VA, Argilla D, Coler RN, Reed SG. Immune Subdominant Antigens as Vaccine Candidates against *Mycobacterium tuberculosis*. *J Immunol*. 2014 Aug 1. pii: 1401103
17. Suvorov A., Ustinovich I., Meringova L., Grabovskaya K, Leontieva G., Vorobieva E., Totolian A. Construction of recombinant polipeptides based on beta antigen C (Bac) protein and their usage for protection against group B streptococcal infection. *Indian J. Med. Res.*, 2004, 228-232.
18. Yermolenko E., Kolobov A., Chernysh A., Suvorov A. Influence of synthetic peptide inductors on antibacterial activity of enterococci// *Beneficial Microbes*, 2011, Vol. 1, № 1.- P. 253-257.
19. Tarasova E., Yermolenko E. , Donets V., Sundukova Z. , Bochkareva A. , Borschev I. , Suvorova M. , Ilyasov. I., Simanenkov V., Suvorov A. The influence of probiotic enterococci on the microbiota and cytokines expression in rats with dysbiosis induced by antibiotics// *Beneficial Microbes*, 2010, Vol. 1, № 3.- P. 265-270
20. Дуплик Н. В., Королева И. В., Суворов А.Н. Клонирование, экспрессия и изучение иммунологических свойств рекомбинантного полипептида на основе С5а пептидазы стрептококков группы В // *Медицинская иммунология*. 2009, 11, 16 7-14.
21. Суворов А.Н., Устинович И.А., Мерингова Л.Ф., Леонтьева Г.Ф., Грабовская К.Б., Коржуева А.С. Рекомбинантные ДНК, обеспечивающие получение полипептидов р6, р7, р8, обладающих протективными свойствами в отношении *Streptococcus agalactiae* и селективно-связывающих iga патент на изобретение RUS 2387715 18.06.2008
22. Суворов А.Н., Симаненков В.И., Сундукова З.Р., Ермоленко Е.И., Цапиева А.Н., Донец В.Н., Соловьева О.И. Способ получения аутопробиотика на основе *Enterococcus Faecium*, представителя индигенной микрофлоры кишечника хозяина патент на изобретение RUS 2460778 30.12.2010

В заключение еще раз отметим, что ученые академических и профильных институтов СПб работают в самых разных областях науки. Ряд разработок ученых внедрены, имеют патенты, многие проекты находятся на стадии опытных образцов и технологий и могут быть переданы в инновационную сферу. Для поддержания наиболее приоритетных фундаментальных научных проектов, необходимо создание комплекса программ, мер по их поддержке. Это возможно при:

- реализации целевых медико- биологических программ, направленных на сохранение и укрепление здоровья населения СПб;
- формирование краткосрочных программ по приоритетным направлениям в биологии и медицине;
- создание современной медицинской диагностической аппаратуры, фармакологических препаратов и оснащение ими поликлиник и больниц;
- в рамках целевой программы создать с участием академических институтов, ВУЗов, Администрации города научно-образовательный центр по молекулярной медицине и новым медицинским технологиям.

Реализация предлагаемых программ позволит добиться прогресса в медицинской науке и промышленности за счет объединения разрозненных усилий фундаментальной и прикладной науки, образования, практического здравоохранения и промышленности. Хочется процитировать Мартина Б.Леона, директора Центра интервенционной ангиологии Колумбийского университета « ...прогресс и новые технологии в меньшей степени зависят от гениев и в большей – от совместных действий социальных, политических и экономических сил, которые все вместе создают экосистему, благоприятствующую развитию инноваций».

8 Человек как фактор эволюции. Влияние природопользования на экосистемы Северо-Запада России

Человек (*Homo sapiens*) - продукт биологической эволюции. В то же время, в отличие от других видов, населяющих нашу планету, он не столько адаптируется к условиям существования или выбирает их, сколько создает эти условия. По мере угасания движущей функции естественного отбора, эволюция человека, сохранившего основные характеристики биологического объекта, перешла в социальную сферу. Одновременно человек сам стал мощным фактором эволюции жизни на Земле.

К сожалению, человек пока не достаточно осознал свою роль и ответственность как фактора биологической эволюции. Это выражается, прежде всего, в том, что в условиях современной глобализации мы изменяем окружающую нас естественную среду, иногда настолько сильно влияя на природные экосистемы, что на их восстановление уходят десятилетия. Многие процессы, вызванные деятельностью человека, необратимы (так, например, уничтожение на Северо-Западе России типичных таежных лесов повлекло за собой исчезновение или резкое снижение численности не только ряда видов растений, но и множества видов эндемичных животных). Мы не только уничтожаем многие биологические виды и их места обитания, но зачастую перемещаем организмы в новые для них условия существования сознательно (в случае интродукции) или бессознательно (в случае т.н. биологических инвазий), не задумываясь о последствиях для нативных экосистем и перспективах собственной хозяйственной деятельности. Реально же эти процессы нуждаются в пристальном изучении, поскольку человечество поставило крупномасштабный эксперимент по вмешательству в эволюционный процесс, и результаты этого эксперимента учтены лишь в малой степени, не сопоставимой с истинными масштабами искусственных сознательных или бессознательных биологических инвазий.

Гениальность Ч.Дарвина выразилась в том, что формулируя представления о роли естественного отбора как движущей силы эволюционного процесса, он исходил из понятия «вид», содержание которого до сих пор является предметом дискуссий. Дарвиновская теория эволюции приобрела предсказательную силу (что характерно для настоящей научной теории), когда акцент был перенесен (конкретизирован) с проблемы «эволюции видов» на проблему «эволюции генов», или точнее «эволюции генетического материала». Этой трансформации способствовали, как минимум, два направления биологии, развивавшиеся длительное время независимо.

Во-первых, успехи молекулярной генетики, приведшие к формированию представлений о т.н. нейтральной эволюции [1], которое не столько имело отношение к эволюции, как таковой, сколько объясняло возникновение и существование нейтрального (в отношении отбора) полиморфизма природных популяций. Тем самым было показано, что классические генные (точковые) мутации не являются основным фактором эволюции генетического материала и не могут играть решающей роли в дивергенции видов. Мутации играют роль в дивергенции генов только (или преимущественно) после предшествующей дупликации генетического материала: от дупликации отдельных генов до дупликации целых геномов [2]. Предсказываемые этой концепцией повторы нуклеотидных последовательностей разной протяженности и существование псевдогенов, являющихся примерами дивергенции дуплицированных участков были обнаружены при определении первичной структуры всех геномов, исследованных к настоящему времени. Тем самым была поколеблена вера в универсальность Синтетической Теории Эволюции (СТЭ) [3], главным достижением которой можно считать доказательство того, что знание микроэволюционных процессов (генетики популяций) не достаточно для понимания реальных механизмов эволюции или, говоря иначе, закономерности макроэволюции не сводимы к закономерностям микроэволюции. Представления о макро- и микроэволюции, сформулированные Ю.А.Филипченко в 1927 г. [4], не разделял его бывший сотрудник Ф.Г.Добржанский, заложивший основы СТЭ в 1937 г [5] уже в США.

Второе направление биологических исследований, которое лежит в основе современной версии теории эволюции, - объединение экологии и генетики в форме экологической генетики. Эта область биологии исследует генетический контроль отношений организмов в экосистемах между собой и с абиотическими факторами среды, равно как и влияние экологических отношений на генетические процессы. Значение экологической генетики для понимания эволюции определяет тот факт, что в реальности эволюционируют не отдельные виды, а целостные экосистемы взаимодействующих видов. Тем самым очевидно, что закономерности макроэволюции, основанной на межвидовых взаимодействиях, не сводимы к закономерностям микроэволюции, т.е. к динамике внутривидовых популяций. Таким образом, экологическая генетика призвана внести решающий вклад в новый эволюционный синтез, формирующийся на наших глазах.

Следует особо отметить, что как инвазивные виды, так и агенты биометода (полезные организмы, используемые для борьбы с вредителями и сорняками) в последнее время привлекают особое внимание ученых и практиков: биологические инвазии представляют существенную угрозу естественному биоразнообразию и наносят огромный экономический ущерб. Санкт-Петербург и Ленинградскую область инвазии чужеродных

видов не обошли стороной, и последние встречаются в нашем регионе во всех биоценозах, среди всех типов организмов.

Накопление данных по экологии отдельных видов, равно как и пополнение знания об изменениях в функционировании наземных и водных экосистем является немаловажным этапом оценки роли человека как фактора эволюции на Земле.

В наши дни остается не достаточно исследованной изменчивость и динамика популяций эндемичных и инвазивных видов в сравнительном аспекте в старых и новых условиях обитания, когда меняется отношение организмов с их естественными «врагами» и партнерами по экосистемам. Мы плохо знаем последствия изменений в соотношении видов внутри отдельно взятой экосистемы, а также распространения паразитов и эндосимбионтов, переносимых инвазивными видами или, например, видами, появившимися в регионе в результате потепления климата или в результате искусственно созданных человеком новых местообитаний, в природные экосистемы. Также мы практически ничего не знаем о возможном гено-токсикологическом (мутагенном) эффекте новых условий существования на инвазивные виды и виды, существующие в измененной нами среде обитания.

Наряду с фундаментальными проблемами, которые помогут решать классическая биология и экологическая генетика, перед нами стоит проблема «работы над ошибками», а именно: необходимо исправлять ситуацию, которая стала проблемной для эндемичных представителей фауны вследствие изменения природных условий, а также биологических инвазий. Необходимо разрабатывать методы нейтрализации их нежелательных последствий, прежде всего, - биологические методы сдерживания размножения пришельцев в тех случаях, когда они наносят вред хозяйственной деятельности человека. Примером разработки таких методов могут служить пионерские исследования А.С.Серебровского [6] в первой половине XX века, не встретившие энтузиазма в СССР, но позже успешно использованные американскими коллегами. Очевидно, что сегодня мы можем и должны развивать подобные подходы, опираясь на достижения современной науки.

Не менее важным в исследованиях современной науки является выяснение закономерностей многолетней динамики самих природных экосистем – одна из важнейших и сложнейших задач экологии. Это часть общей проблемы причины изменчивости природы Земли, которая, несмотря на длительную историю исследований, находится на начальной ступени понимания. Изучение долговременных изменений природной среды имеет не только научное, но и прикладное значение в качестве основы для корректной интерпретации данных экологического мониторинга. Без учета этого

фактора естественные изменения в некоторых случаях могут быть ошибочно истолкованы как результат антропогенного воздействия. Долговременные ряды наблюдений особенно важны при исследовании динамики природных процессов, вызванных колебаниями климатических факторов, интерес к которым в последние годы особенно усилился в связи с дискуссиями по поводу так называемого глобального потепления, которое связывают с последствиями хозяйственной деятельности человека.

Стремительное развитие космических и компьютерных технологий, необходимых для архивации, тематической обработки и анализа данных дистанционного зондирования (ДДЗ) способствуют получению наиболее объективных и точных данных о состоянии как экосистем в целом, так и мест обитания различных живых объектов. Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли к настоящему времени достигли принципиально нового уровня развития. Их отличает высокая стабильность и многократность наблюдений, глобальность, наличие достаточно длинных рядов данных, возможность воссоздания количественных характеристик состояния окружающей среды. Разрабатывается современная аппаратура для съёмки Земли из космоса, и создаются совершенно новые методы и технологии обработки спутниковых данных. Это позволяет, с одной стороны, создавать прикладные системы для решения насущных потребностей общества, с другой – на новом уровне решать многочисленные научные вопросы, связанные с наблюдением состояния и динамики природных объектов. Технологии и методы дистанционного зондирования Земли используются при решении различных хозяйственно-экономических и природоохранных задач, для мониторинга и картографирования хозяйственной инфраструктуры и окружающей природной среды.

Все изложенное доказывает актуальность проводимых исследований, как в фундаментальном плане, так и в приложении к конкретным проблемам сохранения естественных экосистем С.-Петербурга, Ленинградской области и всего Северо-Западного региона России, на которые интенсивное природопользование, изменение климата и биологические инвазии оказывают существенное влияние.

8.1 Экологическая генетика биологических инвазий

8.1.1 Актуальность проблемы

Под биологическими инвазиями как правило подразумевается интродукция, освоение новой территории и распространение видов за пределами их естественного ареала обитания. Биологические инвазии представляют серьезнейшую угрозу биоразнообразию, сельскому хозяйству, здоровью людей и экономике в целом. Расходы, связанные с борьбой с наиболее известными широкой публике экзотическими вселенцами из разряда сорняков, вредителей сельскохозяйственных культур, с речной дрейссеной, патогенами растений и др. составили в США около \$137 миллиардов [7]. Быстрое распространение экзотов привлекло значительное внимание международного сообщества и стимулировало серьезные экологические исследования. Однако, в отличие от экологических, эволюционные аспекты инвазий остаются относительно плохо изученными. Изучение эволюционных аспектов биологических инвазий требует объединения усилий и совместных подходов экологов и генетиков. По определению, инвазивные виды присутствуют в чужих для них регионах, не в тех, где протекала их эволюционная история и, по всей вероятности, они должны быть плохо адаптированы к новой среде. Экологические условия в новой для инвазивного вида среде могут существенно отличаться от тех, которые типичны для его исходного ареала и, таким образом, следует ожидать, что в новых условиях инвазивный вид будет подвергаться действию отбора и быстрым адаптивным изменениям. Только недавно биологические инвазии стали рассматриваться как «естественные природные эксперименты», которые предоставляют уникальную возможность наблюдать экологические и эволюционные процессы в реальном времени (Lee 2002; Sax et al. 2007). Понимание этих процессов крайне важно для выработки успешных мер по контролю и управлению инвазиями.

Инвазии часто представляют собой быстрые эволюционные события (Reznick and Ghalambor, 2001), при этом генетические характеристики популяций оказывают существенное влияние на способность популяций к расширению ареала (Tsutsui et al., 2000). И естественный отбор и дрейф генов могут менять генетическую структуру инвазивных популяций и таким образом изменять их толерантность и поведение. Инвазивные виды также способны вызывать эволюционные изменения у автохтонных видов. Соответственно, эколого-генетический подход к изучению инвазий очень важен для выявления характеристик, определяющих успех инвазии. Данные по демографической истории (эффективный размер) и генетической структуре популяции-основателя

инвазивного вида очень важны для ответа на один из ключевых вопросов биологии инвазий: что стоит за успешностью инвазивного чужеродного вида? В этом случае эколого-генетический подход заключается в изучении особенностей поведения и экологии особей с известными генетическими характеристиками и того какую роль играют эти генетические характеристики в адаптации к новым условиям среды и, в конечном счете, в успехе инвазии.

8.1.2 Биологические инвазии

Антропогенное расселение видов [биологические инвазии (далее инвазии)] происходит с времен неолита вследствие снятия географических и экологических барьеров, сдерживающих естественное распространение [8]. Процесс имеет важное значение для существования *Homo sapiens* как биологического вида (большинство сельскохозяйственных культур, агенты биометода – акклиматизанты). Оправдан и современный научный и практический интерес к случайным инвазиям - процессу стихийного расселения видов (биологической инвазии в прямом смысле слова). Интерес (актуальность) определяется влиянием случайных вселенцев на современное состояние наземных и водных экосистем Земного Шара, ставшим не просто заметным [9], самовоспроизводящимся [10], но и значимым для целых континентов [11]. В частности, фактор инвазий считается вторым важнейшим в антропогенной трансформации морских и прибрежных экосистем после загрязнения вредными веществами [12]. Разноплановый интерес к проблеме инвазий привел к основанию в 1990-2000 е годы нескольких специализированных периодических научных изданий - международных (например, Biological invasions) и отечественных (Российский журнал биологических инвазий Russian Journal of Biological Invasions). Периодические издания в области биологических наук (Trends in Ecology and Evolution; Oikos; Freshwater Biology, Aquatic Ecology, Molecular Ecology, Evolution,. Diversity and Distibutions, Mol. Phyl. Evol. и мн. др.) и прикладных исследований (Aquaculture, Biological conservation, Biofouling, Reviews in Fisheries Science и мн. др.) регулярно публикуют обзоры и результаты оригинальных работ в области инвазионной биологии. В результате реализации международных научно-исследовательских программ созданы многочисленные интернет-ресурсы, содержащие в разной степени детальные сведения о вселенцах (www.issg.org; www.europe-aliens.org и мн. др.), благодаря программе баркодинга (серия проектов и консорциумов Barcode of Life, www.barcodeoflife.org) существенно пополнился сведениями о вселенцах генный банк (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>).

Основополагающие монографии по теме [13; 14; 15; 16; 17] и мн. др. свидетельствуют, что изучение инвазий - определенно экологическое направление исследований, отражающее значение инвазии как современного фактора трансформации экосистем-реципиентов. Вместе с тем, инвазии - (1) предпосылка дальнейшей эволюции и видов, имеющих общую историю становления и видов из удаленных регионов, (2) источник материала для исследований микроэволюционных процессов. С конца 1990 гг. исследования инвазий и публикации результатов приобретают эволюционную направленность, а в арсенал методов описания инвазий вовлекаются методы исследования ДНК [18; 19] с 2000-х в эколого-физиологических исследованиях, главным образом лабораторных культур водных организмов, начинают использоваться методы изучения экологической стехиометрии [20], изменчивости фрагментов генома, определяющих рост организма [21; 23], в том числе при моделировании действия отбора, характерного для начальных фаз процесса инвазии [24].

Накопленная информация и современный уровень знаний об особенностях чужеродных видах и внешних причинах и предпосылка успеха их расселения, материально-техническая база экологических и молекулярно-генетических исследований, переход от анализа отдельных маркеров и участков ДНК к анализу генома и мета генома, транскриптома, протеома и метаболома, по-видимому, позволят в недалеком будущем перейти к междисциплинарному исследованию биологической инвазии как «естественного эксперимента», обеспечивающего контакт представителей прежде изолированных популяций вида за пределами его естественного ареала, в условиях разной степени нарушенных систем-реципиентов, где универсальные генетические механизмы формируют в зонах контакта одновременно разнообразный и уникальный материал для естественного отбора и, в конечном, итоге лежат в основе разноплановых трансформаций экосистем - реципиентов.

8.1.3 История экологических и молекулярно-генетических исследований чужеродных видов в направлении экологической генетики биологических инвазий (мировая практика, Россия (СССР), Санкт-Петербург)

Детальное описание истории исследований различных аспектов инвазий и становления терминологического аппарата имеется в коллективной монографии по преимуществу Санкт-Петербургских ученых "Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах" [25].

Современные исследования экологии чужеродных организмов имеют богатую предысторию, связанную с проведением в 1930-1950-е гг. целенаправленных

акклиматизационных работ в бывшем СССР, нацеленных, в частности, на освоение полуестественных экосистем каскадов водохранилищ. К сожалению, фундаментальные работы отечественных ученых в этой области, содержащие теоретическое обоснование акклиматизаций и объясняющие ряд причин и предпосылок инвазий на богатом фактографическом материале конкретных случаев акклиматизаций – удачных и неудачных, детально разработанный терминологический аппарат, методики специализированных эколого-физиологических исследований гидробионтов, будучи изданными на русском языке [26]; работы, предшествовавшие монографии [14] остались не замечены международной научной общественностью. То же произошло и с фактически междисциплинарными, сочетающими в себе методы геологии, палеонтологии и биологии, публикациями о формировании фауны бассейнов южных внутренних морей СССР например [28] – одного из самых важных источников Европейских и трансконтинентальных инвазий [29]. В результате, признание исследований инвазий как одного из важных фундаментальных направлений экологии часто связывают с выходом в свет книги Ч. Элтона "Экология нашествий животных и растений" [13].

Забытые отечественные работы оказались востребованы лишь в 1990-2000-е гг. после массовых регистраций чужеродных видов понто-каспийского происхождения в Северной Америке и Европе [30; 31; 32] и в последствии, при формулировании гипотез о расселении этих видов и их проверки методами молекулярной биологии, гипотез об успехе и групповом характере протекания инвазий представителей понто-каспийских и других фаунистических комплексов [33; 34; 29; 35; 36] и мн. др.

Совершенствование информационных и телекоммуникационных технологий, методов обработки данных, глобализация экономики и связанное с ней накопление всемирного фактографического материала о расселении видов [37] – предпосылки к переходу с середины 1990-х гг. от анализа отдельных случаев инвазий к обобщениям на примере крупных биогеографических выделов, таксонов, типов хозяйственной деятельности. В итоге были сформулированы три концепции ("invasion models") об основных причинах, предпосылках и некоторых механизмах инвазий¹. Так, с точки зрения так называемой «исторической модели» («historical model», [15; 38]) основная предпосылка инвазии того или иного вида - набор его свойств, определяющих потенцию быть объектом инвазии («инвазионность», «invasiveness»), сформировавшийся в результате адаптации к условиям региона-источника инвазии. Условия в свою очередь, формируются в ходе геологической истории [28; 39] и современных климатических и биотопических вариаций [25]. Вторая группа предпосылок – совокупность свойств системы-реципиента, предрасполагающие к формированию в нем устойчивой

самоподдерживающейся популяции вселенца («vulnerability model» по [15]), то есть абиотические и биотические условия [приемная емкость по [14], сложившиеся в результате взаимодействия естественных и антропогенных факторов. Согласно «propragule pressure model» [16] или давлению инвазии, наличие устойчивых инвазионных коридоров² – один из факторов, способствующих множественным и многократным инвазиям не только отдельных видов, но и целых фаунистических комплексов.

В конце 1990-х - начале 2000-х гг. благодаря совершенствованию методов работы с ДНК, разработке удобных молекулярных маркеров и подходов к филогеографическим исследованиям [40; 41] появилась возможность молекулярного уточнения таксономической принадлежности новых находок [42], эколого-генетического документирования инвазий - оценки происхождения [43], характера (в части множественности источников и событий интродукции), возможных путей расселения ([18], [42] и мн. др. В частности, благодаря исследованиям митохондриальной ДНК была показана неоравнозначная³ инвазионность различных гаплотипов одного и того же вида на примере двух далеких друг от друга таксонов - *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) [38] и *Cercopagis pengoi* (Cladocera) [44], благодаря исследованиям 18S ribosomal RNA gene (rRNA), internal transcribed spacer (ITS), and 5.8S rRNA уточнена таксономическая принадлежность находок гребневиков в северной части Балтийского моря как *Mertensia ovum* и снят вопрос об инвазии в этот регион одного из наиболее опасных вселенцев – *Mnemiopsis leydyi* [24].

Новые методы постепенно находят практическое применение в мониторинге чужеродных видов, чему в немалой степени способствует развитие программ серии Barcode of Life. В частности серией Госконтрактов 2004-2008 гг [45-49] в свое время в Санкт-Петербурге была разработана система мониторинга чужеродных видов Финского залива, включавшая в себя рекомендации по внедрению элементов молекулярной идентификации для фрагментов, личинок и покоящихся стадий, организмов, находок неясной таксономической принадлежности, [50].

В молекулярно-генетических исследованиях вселенцев предпочитают использовать митохондриальную ДНК, но встречаются работы, основанные и на вариабильности фрагментов рибосомальных генов (напр.ITS), [42]. Традиция использования спейсеров рДНК (IGS⁴) в экологических исследованиях насчитывает несколько десятилетий и, вероятно, имеет гораздо более широкие перспективы в инвазионной биологии, нежели документирование инвазий. Неравнозначность коротких и длинных IGS показана *in vitro* [51]; у лабораторной культуры *Daphnia pulex*⁵, [52] - возросшая частота встречаемости длинных IGS (за счет СУБповторов) характерна для линий с быстрым ростом молодежи,

высоким содержанием в теле РНК and P (фосфора) (подтверждение предположения о взаимосвязи длины спейсеров, скорости соматического роста, изменения экологических стехиометрических соотношений, высказанного [53]; на примере дрозофилы показано, что генотипы, содержащие longer IGS обеспечивают более высокую скорость транскрипции благодаря большому количеству регуляторных элементов (промоутеры и усилители (enhancer and promoter sites) в регионах субповторов IGS) что проявляется в более высокой скорости развития (через более высокую скорость роста молодежи) (Cluster et al., 1987; Grimaldi, Di Nocera, 1988). Рядом работ показана взаимосвязь между изменчивостью рибосомальной ДНК и изменениями стехиометрических соотношений в окружающей среде. Показательны в этом смысле названия серии статей – Biological stoichiometry from genes to ecosystems [53]; The functional significance of ribosomal rDNA variation: impacts on the evolutionary ecology of organisms [54]; Toward a stoichiometric framework for evolutionary biology [22]; Growth rate–stoichiometry couplings in diverse biota [55]. Натурные наблюдения и эксперименты в мезокосмах подтверждают, что изменчивость жизненного цикла и ростовых процессов (см. выше про IGS) у гидробионтов, формирующих основу трофических цепей⁶ ведет к дивергенции в динамике популяций и, как следствие к дивергенции в отношениях между ресурсом и его потребителем, а затем к каскаду изменений⁷, затрагивающим все трофические уровни [56].

На рисунке 8.1.1 приведена модифицированная схема генной регуляции организменной экологической стехиометрии, которая также может быть использована как и логическая схема планирования перспективных микроэволюционных исследований вселенцев.

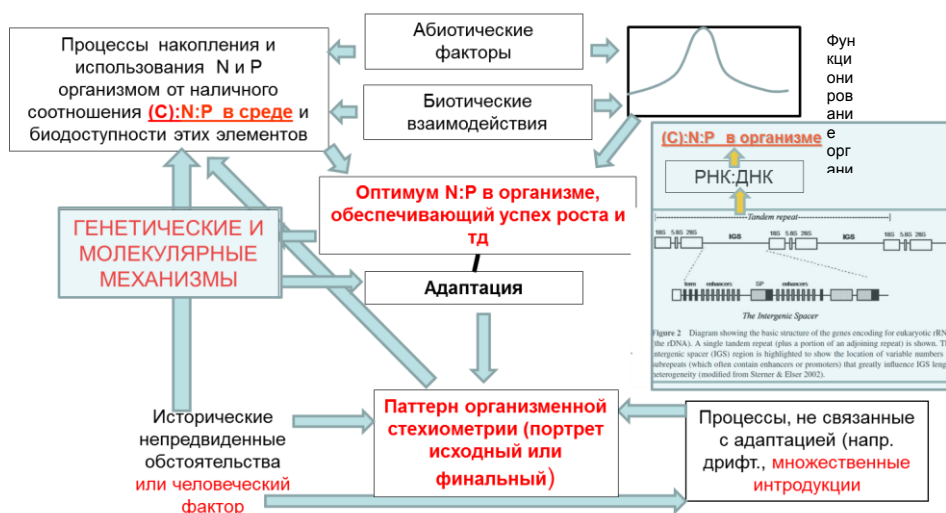


Рисунок 8.1.1 – Возможная схема формирования стехиометрических соотношений в организме и изменчивости IGS в процессе расселения натурадивавшейся популяции вселенца (экспансии) в системе-реципиенте (по Kay et al., 2005, Toward stoichiometric framework for evolutionary biology, Oikos, 109:6-17 с дополнениями) [22].

На 2000-е годы приходится и ряд работ по описанию геномных мутаций вселенцев. Так, на примере инвазионного семейства корбикулид показано [57], что инвазионные таксоны склонны к высокой изменчивости жизненного цикла, связанной с геномными мутациями как в историческом [58], так и в приобретенном ареале [57]. Для того же семейства известны примеры быстрой эволюции в направлении приобретения неотенических признаков и переходу к прикрепленному образу жизни [59].

Эколого-физиологические исследования и натурные наблюдения за вселенцами в условиях существенных изменений окружающей среды показали, что вселенцы очень пластичны и в отношении тайминга размножения и развития. *Potamopyrgus antipodarum* – партеногенетический эврибионтный брюхоногий новозеландский моллюск, натурализовавшийся в Финском заливе, в течение первых двух лет лабораторного содержания перешел от сезонного размножения к круглогодичному [60]. Популяция другого вселенца – *Dreissena polymorpha* из перегретых водоемов - охладителей, способна к сдвигу сезона размножения и развития с весенне-летнего на осенний период [61]. К сожалению, сведений о генетических механизмах такой пластичности у нас нет. Выяснение таких механизмов – одна из задач перспективных эколого-генетических исследований.

Таким образом, на сегодняшний момент у мирового научно-исследовательского сообщества (куда входят, в том числе и в качестве соавторов публикаций – см. список литературы - и российские ученые) имеются все предпосылки и возможность перехода от классических гидробиологических методов исследования вселенцев-гидробионтов и от молекулярно-генетического документирования инвазий к эколого-генетическим исследованиям процесса инвазии в целом на аут-, дем- и синэкологических уровнях.

8.1.4 Вселенцы и системы-реципиенты

В континентальных водоемах Голарктики на фоне экспоненциального роста числа чужеродных видов, возрастания зоогеографического разнообразия беспозвоночных может происходить снижение роли аборигенных и переход доминирования к чужеродным видам, что ведет к структурным и функциональным перестройкам сообществ [26]; [62]; [63] и др. Сами чужеродные виды, в отличие от аборигенных, часто «преадаптированы» ("historical model", см. выше) к нестабильным условиям, характерным и для трансформированных континентальных водоемов, эврибионты, многие имеют недавнее морское происхождение [64].

Среди водоемов, наиболее подвержены (восприимчивы = "vulnerability model", см. выше) инвазиям каскады водохранилищ, эстуарии, крупные озера (за несколькими исключениями), сохранившие естественный режим, но вовлеченные либо в мировую транспортную систему, либо в масштабные рыбохозяйственные мероприятия [26; 65; 14; 62; 29; 25; 64]. Т.е. все, подвергшиеся существенным антропогенным трансформациям, и где в силу этих трансформаций произошло (и сохраняется в течение длительного времени) *антропогенное снятие географических* (за счет создания межбассейновых каналов и вовлечения в мировую транспортную систему и (или) через непосредственный перенос гидробионтов) и *экологических барьеров* (через изменение гидрофизических, трофических и иных условий).

Анализ состава вселенцев-*Bivalvia* в континентальных водоемах показал, что вселенцы представлены *большим числом экотипов*, чем аборигены [64]. Последние - зарывающиеся формы, с примерно одинаковым развитием переднего и заднего конца тела (т.н. *isomyaria* по [66]). Среди вселенцев обычны и обрастатели (сидячие прикрепленные *heteromyaria*), например *Dreissena* (сем. *Dreissenidae*), *Mytilaster*, *Limnoperna* (сем. *Mytilidae*), сформировавшиеся в морских прибрежных водах [39] и преадаптированные к изменчивым, эвтрофированным искусственным и антропогенно трансформированным крупным континентальным водоемам. Наличие личинок и других расселительных стадий способствует и транспортировке их инокуляционных популяций на значительные расстояния без существенной потери генетического разнообразия и быстрой колонизации систем-реципиентов после успешной натурализации [67]. Вселенцы в наземные системы также существенно отличаются от родственных видов, имеющих ограниченное распространение. Например, муравьи-вселенцы имеют короткий период размножения, изменчивую полигинную структуру колоний, а значит мобильность, позволяющую быстро реагировать на изменение условий (наводнение, появление временного пищевого ресурса) и расселяться даже небольшими фрагментами исходных колоний [68]. Среди сосен вселенцы обладают сравнительно высокой скоростью роста, плодовитостью, мелкими семенами [69]; [70].

Отметим лишь некоторые эволюционные предпосылки инвазионности. О.В. Ковалев (цит. по Алимов, Богущкая 2004) сформулировал *концепцию «экспансии ювенильных таксонов»* выявив, что большинство видов, легко осваивающих новые местообитания, принадлежат к надвидовым таксонам, находящимся в эволюционных фазах экстенсивной дивергенции или расцвета [классификация по Марков, Неймарк (1998)], [25]. К ювенильным таксонам он относит и многих вселенцев. Одной из особенностей генома ювенильных таксонов считает активность мобильных элементов, а

среди генетических процессов, сопровождающих их быстрое расселение, указывает на переход к нерекомбинантному размножению. Пример такого перехода - инвазионный род *Corbucula* (*Bivalvia*) (см. выше, [57]), осваивающий разнотипные континентальные водоемы.

Важной предпосылкой инвазионности можно считать изменчивый характер условий формирования таксона. Рассмотрим пример понто-каспийских фаунистических комплексов. Начиная с миоцена, ископаемые остатки многих инвазионных понто-каспийских таксонов обнаружены в осадках гигантских, относительно мелководных, из-за тектонических и климатических событий подверженных трансгрессиям и регрессиям бассейнов Паратетиса [71; 72]. Продолжив свое развитие в древних лиманах Северного Причерноморья в четвертичный период, отличавшийся резкой сменой климатических фаз, некоторые формы дали начало комплексу лиманных реликтов, известных более широкой толерантностью к колебаниям газового режима, температуры, солености среды, слабой пищевой специализацией, высокой плодовитостью, растянутым периодом размножения в сравнении с близкородственными каспийскими автохтонами, населяющими ныне Каспийское море [28; 39; 14] и мн. др. Благодаря этим особенностям лиманные реликты могут заселять барьерные зоны водоемов [28; 25], легко переносить транспортировку, адаптироваться к новым условиям [29], использовались для успешных преднамеренных акклиматизаций [14]. Исследования митохондриальной ДНК популяций понто-каспийских видов, обитающих в Каспийском море и эстуариях Северного Причерноморья показали незначительные генетические различия между азово-черноморскими (лиманскими) и каспийскими (автохтонными) популяциями одних и тех же видов [*Cercopagis pengoi* [72], *D. Rostriformis* [67] *D. polymorpha* [36]]. Те же авторы выявили, что, за пределами Понто-Каспийской солоноватоводной области распространены только азово-черноморские гаплотипы (более «молодые», сформировавшиеся в изменчивых эстуарных условиях), а каспийские найдены лишь в Каспийском море или в Волге до Самарской Луки (граница древних Каспийских трансгрессий) и отсутствуют в области инвазии на севере и западе Европы и в Северной Америке (за единственным исключением [73], скорее всего, связанным с микроэволюцией на периферии инвазионного ареала).

И в водных, и в наземных экосистемах имеется немало случаев «сопряженных инвазий» = «invasion meltdown» [74], когда натурализация одного или нескольких видов (как правило эдификаторов), способствует вселениям других. Часто так расселяются виды одного и того же биогеографического комплекса [38], т.е. имевшие период ко-эволюции, но нередки и подобные инвазии видов различного происхождения, но преадаптированных к межвидовым отношениям друг с другом. Некоторые виды привносят вместе с собой

своих эндосимбионтов и паразитов и последние (вместе или отдельно от своих хозяев) становятся членами сообществ системы-реципиента [75]. В случае сопряженной инвазии комбинация нескольких видов может оказывать синэргический эффект на сообщество [74; 38].

Существенно повышает успех антропогенного расселения способность вида сосуществовать *с* или *вблизи* человека [13], такие виды «молоды» и преадаптированы к антропогенным изменениям природных ландшафтов [76]. Демонстрируют инвазии виды-комменсалы человека, антропохоры (например, сорняки), синантропы. Под воздействием человека идет ускоренное формообразование - селекция сортов и.т.д., формирование у сорняков и вредителей устойчивости к пестицидам и инсектицидам; распространение видоизмененных растений и животных в процессе торговли и при их самостоятельном расселении (беженцы из культуры).

Можно выделить, по меньшей мере, три основные предпосылки инвазионности: принадлежность к филогенетически молодым таксонам, формирование и становление в изменчивых условиях, предшествующая ко-эволюция и/или современное сосуществование с инвазионными видами.

8.1.5 Что происходит с вселенцем в процессе расселения

Каждая стадия инвазии предъявляет свои требования к расселяющемуся «материалу», имеет свои особенности действия отбора на «материал»; характеризуется определенной динамикой популяции вселенца и изменениями системы-реципиента; действует как фильтр, отсеивающий материал, не обладающий характеристиками, необходимыми для выживания или изменчивостью, достаточной для адаптации к новым условиям.

При интродукции (включает в себя формирование инокуляционных популяций, их транспортировку в систему-реципиент, пост-инокуляционное выживание) определяется исходный генофонд будущей популяции вселенца. Признано, что при быстром расселении (таковы и инвазии) происходит существенная потеря генетического разнообразия новыми популяциями в сравнении с донорными - проявляются эффекты “основателя” и “бутылочного горла”. Теоретически, обедняя генофонд, они ограничивают адаптационные возможности⁸⁾ [77].

При инвазиях проявления этих эффектов регистрируют у видов со сложной демографической и генетической структурой популяций (общественные Нуменоптера), когда при инбридинге нарушается гамогенез из-за стерильности самцов [78] и у крупных животных, если интродукция осуществляется ограниченным числом особей [в популяциях

некоторых рыб наблюдается снижение аллельного полиморфизма и дефицит гетерозигот [79]. В большинстве исследованных случаев потеря умеренная - не более 20% от разнообразия популяций из исторического ареала [80; 81]. Т.е. наблюдается т.н. «генетический парадокс инвазий». Крайнее выражение «парадокса» – более высокое генетическое разнообразие в интродуцированных популяциях в сравнении с отдельно взятыми исходными [82; 83; 68] и мн. др. Возможная причина - биологические особенности вселенцев (высокая скорость и частота размножения, микроскопические свободноживущие личинки, мелкие семена), обеспечивающие высокую численность и гетерогенность инокуляционных популяций даже при однократном заносе. Немаловажен и направленный, множественный характер заносов, обеспеченный действием инвазионных коридоров или многократными, специально спланированными акклиматизационными мероприятиями [81]. И то и другое обеспечивает постоянный приток генов в систему-реципиент из исторического ареала, а часто и из популяций, уже натурализовавшихся в области инвазии (по ходу коридора).

8.1.6 Что происходит с натурализовавшимися вселенцами (экспансия, интеграция)

Вопрос о том, как меняются вселенцы в процессе инвазии - один из наиболее важных в теоретических исследованиях инвазий и решении проблемы прогнозирования их последствий [17].

Экспансия

Большинство случаев морфологических, физиологических или поведенческих отличий особей в области инвазии от особей из исторической области зарегистрировано на периферии инвазионного ареала, и потому я условно отношу их к стадии экспансии.

Наблюдение за длиной конечностей жабы *Bufo marinus*, расселяющейся из Южной и Центральной Америки с 1930-х гг. показало, что на периферии инвазионного ареала преобладают более быстрые особи с удлинёнными конечностями, но по мере освоения местообитания этот признак «исчезает» [84].

Описывая вспышки численности и быстрое расселение интродуцированных насекомых-агентов биоконтроля, О.В. Ковалев (цит. по [25] Алимов, Богущкая, 2004) вводит понятие уединенной популяционной волны (УПВ) для наиболее выдвинутой в новую область части инвазионного фронта, и отмечает значительную фенотипическую изменчивость особей в период формирования УПВ. Так, у амброзиевого листоеда *Zygogramma suturalis* при формировании УПВ с экстремально высокой численностью появились летающие особи. Они были выделены в отдельный подвид - *Z. suturalis volatus*, и признак этот, в отличие от длины ног у жаб, скорости роста у дафний, изменений

демографической структуры популяции у *Cercopagidae*, не исчез при дальнейшем расселении. Генетические механизмы этого явления не обсуждаются.

Экспансия аргентинских муравьев часто сопровождается изменением морфологии колоний и поведения особей [68]. Для популяций из Калифорнии, Европы, Австралии, Новой Зеландии характерны «суперколонии» с уникальной структурой (вместо полигинной, см. выше), напоминающие УПВ. Формирование подобных скоплений муравьев обусловлено снижением внутривидовой агрессии и конкуренции (и генетического разнообразия).

8.1.7 Интеграция и пост-инвазионный период

О появлении новых форм в результате инвазий и их дальнейшей судьбе известно немного по объективной причине - небольшое пока число долговременных пост-инвазионных исследований.

Дифференциация (изоляция) популяций вселенцев обычна в системах, где выражена гетерогенность (градиентность) условий. Современный глубоководный вариант *D. rostriformis bugensis* var. *profunda*, обнаруженный только в области инвазии - Великих Американских озерах имеет сходство с древними нетипичными дрейссенидами: длинные сифоны, обитание на мягких илистых грунтах с рассеянными твердыми частицами; быстрый рост (!) в холодноводных олиготрофных условиях профундали, в отличие от представителей обычного варианта, с которыми идентичны по структуре исследованных участков ДНК. [85]. Другой пример – современные интродуцированные популяции чавычи, обитающие в различных биотопах в Новой Зеландии. Натурализовавшиеся популяции различаются по отношению к солености, по времени размножения и другим характеристиками жизненного цикла, а формирующийся различный хоуминг все более ограничивает поток генов между ними [79].

Ко-эволюция вселенцев в области инвазии может протекать в рамках межвидовых отношений. Zangerl, Berenbaum 2005 показали, что в области инвазии (Соединенные Штаты и Европа) у дикого пастернака (*Pastinaca sativa*) после натурализации пастернакового паутинного червя (parsnip web worm) возросла продукция защитных, токсичных для вредителя фуранокумаринов.

Последствия гибридизации и мутаций. Примеров межвидовых гибридизаций много [25]. Stace [86] предполагает, что 1264 видов растений Британских островов – вселенцы, а из них 21 вид – результат гибридизации между вселенцами и половина межвидовых гибридов вселенцев фертильна. Среди последствий гибридизации вселенца и местных видов - образование новых форм с высокими потенциальными возможностями к расселению: в

Великобритании таков аллополиплоид *Spartina anglica* (гибрид местного вида морской травы *S. maritima* и вселенца *S. alterniflora*), размножающийся клонально, обладающий гетерозисом и свойствами инвазионного вида [87].

Вид в области инвазии не эквивалентен себе в историческом ареале. Благодаря контакту на новой территории генофонд вида обогащается новыми комбинациями генов, вид может приобретать более широкий размах фенотипической изменчивости и, как следствие, новые свойства, которые, в том числе могут определять его способность к быстрой экспансии и дифференциации популяций.

8.1.8 Что происходит с аборигенными видами?

Зарегистрированы случаи прямого воздействия вселенцев на местные виды. Так, при интеграции нового хищника действие естественного отбора направлено на выработку способности у жертвы-аборигена к выявлению и защитному реагированию на него. Например, вселение моллюскоядного краба *Carcinus maenas* привело к преобладанию в популяциях его жертв – мидий (*Mytilus edulis*) - особей с толстыми створками, защищающими их от поедания [88]. Сходно «вели себя» мидии и в местах массового развития краба-вселенца *Hemigrapsus sanguineus* [89]. На участках побережья, где численность крабов низкая строение раковины мидий не изменилось [90].

Соответственно и интеграция жертвы-вселенца воздействует на местных хищников. Вселение в Австралию ядовитых американских камышовых жаб привело к выработке у местных змей (*Pseudochis porphyriacus*), сосуществующих с ними, повышенной толерантности к яду жаб и реакции их избегания как пищевого объекта [84].

8.1.9 Что происходит с системами-реципиентами в целом?

Интеграции нового вида, как правило, уже предшествует целый ряд изменений (см. 2.1), приводящих исходную (естественную) экосистему в состояние восприимчивости. Становясь постоянным компонентом сообщества, вид интегрируется (встраивается) в потоки вещества, энергии, информации системы. Т.е. последствия интеграции касаются не только отдельных видов и микроэволюционных процессов, но практически всех компонентов экосистемы-реципиента.

Элементное разнообразие

В большинстве экосистем-реципиентов отмечен рост общего числа чужеродных видов, появление новых симбиогеоценозов, фрагментов трофических цепей. В том числе

это происходит за счет сопряженных инвазий и межвидовых отношений вселенцев друг с другом и с аборигенами .

Большинство инвазий, протекающих одновременно или через небольшой промежуток времени определяются *прямыми межвидовыми отношениями* и «снабжают» систему-реципиент устойчивыми комплексами новых видов. Таковы инвазии растений и их опылителей-насекомых, животных, распространяющих их семена, фитофагов; одновременно распространяются симбиогенозы, образованные растением и микоризными грибами, растением и азотфиксирующими бактериями [74; 91; 25].

Непрямые межвидовые отношения. Серия сопряженных инвазий, основанных на таких отношениях, чаще всего открывается натурализацией вида-эдификатора, меняющего условия в системе-реципиенте так, что они становятся благоприятны для других вселенцев, связанных с эдификатором консортивными отношениями [92; 74; 91; 93; 94]. Именно такая составляющая присуща инвазиям лиманных реликтов. Благодаря широкой географии инвазионных коридоров, обычны и случаи образования консорций видами различного происхождения [91; 93; 95]. Местные виды беспозвоночных часто становятся консортами седентарных вселенцев [92].

В случае массового развития вселенцев-эдификаторов, меняющих абиотические и биотические условия, возможно их опосредованное селективное влияние на местные виды через изменения структуры сообществ, биогеохимических циклов, продуктивности экосистем [90; 63], в том числе кардинально. Так, травы-вселенцы, меняя частоту пожаров, полностью меняют видовой состав сообществ и циклы биогенных элементов [97].

Функциональное разнообразие вселенцев и его последствия для систем-реципиентов (на примере чужеродных беспозвоночных)

Первичноводные беспозвоночные-вселенцы в континентальных водоемах благодаря высокой доле мезо- и неолимнических видов превосходят по функциональному разнообразию местные. Среди вселенцев – представители 15 трофических групп [64], это количество превышает минимальное число (12), необходимое для формирования одного из вариантов гипотетического «трофически комплектного» сообщества пресноводных беспозвоночных [98]. Благодаря инвазиям функциональное разнообразие пресных вод пополнилось массовыми долгоживущими сессильными сестонофагами (напр. «heteromyaria» сем. Dreissenidae,) и сессильными зоопланктофагами (колониальными гидроидными полипами), меропланктонными микрофилтраторами *типичными для морей*.

Более высокое в сравнении с аборигенами разнообразие способов добывания пищи, спектров питания, образа жизни ведет к заполнению вселенцами «лакун» в системе экологических лицензий. Наиболее заметное следствие этого – *формирование в пресных и олигогалинных водоемах нетипичных для них, но обычных в прибрежных зонах морей экологических группировок* - личиночного меропланктона, перифитона морского типа за счет сессильных Bivalvia, Cirripedia, Hydrozoa; чужеродных фрагментов трофических цепей (например, «оседающий меропланктон – колониальные Hydrozoa-зоопланктофаги»). Массовое развитие видов, заполнивших существовавшие лакуны и новых группировок может заметно влиять на функциональные характеристики и динамику экосистем, ускоряя или замедляя их развитие.

Очень часто при натурализации и последующей экспансии и интеграции массового вида-эдификатора происходит заметная перестройка структуре экосистем и, как следствие меняется ее продуктивность, сопровождающиеся биогеохимическими изменениями, в частности соотношением основных биогенных элементов [99; [100; 97].

Таким образом, самосборка сообществ в области инвазий может осуществляться из чужеродных «комплектующих» различного происхождения, служа тем самым предпосылкой для дальнейшей совместной эволюции видов, представляющих разные биогеографические комплексы, ранее изолированные, не имевшие в предшествующие геологические эпохи каких-либо контактов, а также для трансформации (эволюции) экосистем-реципиентов.

8.1.10 Основные направления исследований по экологической генетике инвазивных видов и видов, используемых для биологической борьбы с вредными организмами

Параметры окружающей среды, к которой адаптированы все живые организмы, подвержены пространственно-временной изменчивости. При этом изменения во времени либо цикличны, либо относительно постепенны, а перемещения в пространстве чреватые быстрыми и необратимыми изменениями среды. Последнее особенно часто наблюдается при случайном или преднамеренном расселении животных и растений за пределы их естественных ареалов. Быстрая адаптация к новым условиям – практически обязательный атрибут как злостных инвайдеров, так и эффективных агентов биометода (полезных организмов, используемых для борьбы с вредителями и сорняками): при всех внешних различиях инвазии и биометод имеют много общего [101; 102; 103., 104; 105; 106]. Следует особо отметить, что как инвазивные виды, так и агенты биометода в последнее время привлекают особое внимание ученых и практиков: биологические инвазии представляют существенную угрозу естественному биоразнообразию и наносят огромный

экономический ущерб [107; 108; 109; 110], а биологическая борьба с вредными (в том числе и с инвазивными) организмами – одна из основных альтернатив массовому применению пестицидов, вредных для здоровья людей и загрязняющих окружающую среду [111; 112; 113; 104].

И преднамеренные интродукции, и биологические инвазии, как «естественные эксперименты» [114] предоставляют возможность исследования микроэволюционных процессов в ходе приспособления к новым параметрам среды в естественных условиях и поэтому являются превосходной моделью для экологической генетики. А если учесть важнейший прикладной аспект этих исследований, не удивительно, что различные аспекты биологии инвазивных видов изучаются во множестве научных центров разных стран.

Исследования, посвященные потенциальным или уже применяемым агентам биометода, могут быть поделены на те же направления, с той разницей, что в данном случае практической задачей является успешное внедрение интродуцента в естественные или искусственные биоценозы и достижение максимально эффективного контроля численности «целевого» вредителя или сорняка при минимализации побочных эффектов, оказываемых на полезные или просто на автохтонные виды и сообщества.

Методы экологической генетики и эпигенетики широко применяются практически во всех вышеперечисленных направлениях фундаментальных исследований и на разных этапах борьбы с инвайдерами от выявления предпосылок, путей и источников инвазии до прогноза возможных последствий, поиска оптимальных способов регуляции численности инвазивного вида и предотвращения его дальнейшего расселения [19; 115; 116; 117, 118, 119; 120; 121; 122; 123; 124; 114; 125; 126; 127; 128; 129, 130].

8.1.11 Инвазивные виды в Санкт-Петербурге и Ленинградской области

Санкт-Петербург и Ленинградскую область инвазии чужеродных видов не обошли стороной и последние встречаются в нашем регионе во всех биоценозах, среди всех типов организмов. Мы здесь остановимся лишь на некоторых примерах самых широко распространенных инвазивных видов нашего региона, которые мы планируем исследовать молекулярно-генетическими методами в первую очередь. Так, в частности, одна из серьезных проблем – это биологическое загрязнение водоемов водной системы Ладожское озеро – река Нева – Невская губа – восточная часть Финского залива, связанное с распространением в них чужеродных видов [131]. Один из таких чужеродных видов – амфипода *Gmelinoides fasciatus* (Stebb.) – широко распространенный представитель пресноводных экосистем бассейна озера Байкал. Благодаря широкой экологической

пластичности *G. fasciatus* долгое время рассматривался в качестве одного из наиболее универсальных видов для искусственного вселения в различные водоемы в целях повышения кормовой базы рыб [132]. В настоящее время *G. fasciatus* является самым многочисленным представителем фауны прибрежной зоны крупнейшего в Европе Ладожского озера и других крупных водоемов (Чудское озеро, Верхневолжские водохранилища) [133]. Согласно распространенному мнению после вселения *G. fasciatus* происходит процесс вытеснения местных видов беспозвоночных животных и, как результат, упрощение структуры и снижение видового разнообразия фауны [134]. Кроме этой, в Ладожском озере были обнаружены еще два инвазивных вида амфипод понтотаспийского происхождения. К настоящему времени имеются данные по их количественному развитию и распространению, но отсутствуют сведения по генетическому разнообразию их инвазивных популяций, сравнительному анализу генетической изменчивости нативных и инвазивных популяций [134]. Иными словами, молекулярные методы к изучению инвазии данных видов не применялись. К настоящему моменту нам известен лишь один пример с использованием молекулярно-генетического подхода к исследованию инвазий водных организмов в нашем регионе. Это проведенный в лаборатории молекулярной систематики Зоологического института РАН анализ изменчивости фрагмента митохондриального гена CO1 копеподы *E. affinis* в водоеме Балтийского бассейна [135]. Последний позволил обнаружить факт вселения в Балтийское море североамериканской клады *E. affinis*, установить неоднократный факт ее заноса с балластными водами из портов с восточного побережья США, а также определить конкретные регионы (порты) из которых происходили заносы.

Среди видов наземных экосистем один из примеров чрезвычайно успешной инвазии происходящей в последние годы в нашем регионе – древесные улитки [*Arianta arbustorum*](#) (*Linnaeus, 1758*). За первое десятилетие нынешнего века плотность поселения арианта в некоторых местах увеличилась до тысяч экземпляров на квадратный метр. Они распространились практически по всей Ленинградской области. Естественный ареал этого вида – СЗ и Центральная Европа, Альпы, Карпаты, Восточные Пиренеи. Вид проник и в Северную Америку, где эта улитка известна в Канаде. Пока вид не обнаружен в США, но потенциально представляет серьезную угрозу как вредитель, который может негативно сказаться на сельском хозяйстве, естественных экосистемах, здоровье людей и бизнесе. Вследствие этого в США этому виду присвоено значение угрозы первой степени в национальной карантинной службе США. В Ленинградской области от экспансии этих улиток особенно страдают садоводы и дачники. Они могут питаться различными культурными и дикими растениями, перегнивающими частями растительного и

животного происхождения. Заметим, что наши соседи в Финляндии также ощутили экспансию вида на их территории северо-восточного направления. К настоящему времени неизвестны ни конкретные пути распространения этих улиток, ни популяции-источники инвазии в Европе, непонятен сценарий распространения и какие механизмы обеспечивают невероятную успешность данной инвазии. Для ответа на эти вопросы мы планируем применить подходы экологической генетики, описанные выше к изучению инвазии этих видов в нашем регионе.

В 2014 году нами был получен для молекулярных исследований следующий материал по наземной улитке Арианте и Байкальскому бокоплаву (таблицы 8.1.1 и 8.1.2)

Таблица 8.1.1

| <i>Arianta arbustorum</i> | | | |
|---------------------------|--------------------------------------|------------|-----------------|
| № | точка сбора | дата сбора | кол-во образцов |
| 1 | Павловск | | 8 |
| 2 | п. Ильичево | 12.05.2014 | 8 |
| 3 | п. Новая Ропша | 11.05.2014 | 8 |
| 4 | Санкт-Петербург | 26.06.2014 | 8 |
| 5 | парк Сергиевка, корпус 11 | 05.10.2014 | 8 |
| 6 | Сестрорецк, изгиб реки Сестра | 05.10.2014 | 8 |
| 7 | Сестрорецк, стоянка маломерных судов | 05.10.2014 | 8 |
| 8 | Ораниенбаум, Пароходная ул. | 05.10.2014 | 8 |

Таблица 8.1.2

| <i>Gmelinoides fasciatus</i> | | |
|------------------------------|-------------|-----------------|
| точка сбора | дата сбора | кол-во образцов |
| Байкал, Большие Коты | август 2014 | 30 |
| Ладожское озеро, Щучий залив | 19.10.2014 | 30 |

В первую очередь мы планируем при исследовании этих видов выяснить:

1) Географическое происхождение популяций, пути расселения и характер инвазии (протестировать один из описанных выше гипотетически возможных сценариев инвазии)

2) Исследовать генетическую изменчивость инвазивных популяций, сравнить ее с автохтонными популяциями

Как следует из выше приведенного обзора решение этих задач является необходимым шагом для продвижения во всех остальных направлениях изучения биологических инвазий.

Для решения поставленных задач мы планируем применить стандартные методы выделения тотальной ДНК и постановки полимеразной цепной реакции (ПЦР) для амплификации фрагмента митохондриального гена CO1 размером в 630 пн. Для *Arianta arbustorum* в Генбанке имеется около 100 последовательностей этого фрагмента для этой улитки из популяций Австрии и Германии, так что мы сможем использовать их в качестве сравнительного материала. В дальнейшем материал планируем расширить и за счет большого охвата инвазивными популяциями и за счет расширения ареала сборов автохтонных популяций. Значительное количество последовательностей этого фрагмента имеется в Генбанке и для бокоплава *Gmelinoides fasciatus*. Для анализа будут применена Баесова статистика и стандартные методы анализа изменчивости (сравнение гаплотипической и нуклеотидной изменчивости, построение сетей гаплотипов и др.)

Получив ответы на эти первоочередные вопросы, мы сможем перейти к решению следующих задач по выявлению генетических механизмов успешной адаптации вида к новым условиям, определению механизмов естественного отбора и других актуальных вопросов экологической генетики инвазий, описанных выше.

8.1.12 Дальнейшие перспективы исследований

Планируется сосредоточить усилия на исследовании инвазии животных в Северо-Западном регионе, преимущественно в Ленинградской области и Санкт-Петербурге с обязательным учетом характеристики инвазивных видов в районах-источниках их распространения. Работу будет проводиться в Восточной части Финского залива, включая наземные островные местообитания, озеровидные и озерные водоемы и водоемы-охладители Ленинградской атомной электростанции.

Водные объекты

Наибольший интерес представляют следующие виды:

Эврибионтные виды понто-каспийского происхождения

Dreissena polymorpha polymorpha Pallas (Bivalvia, Dreissenidae)- демонстрирует широкий приобретенный ареал. На северо-западе РФ населяет естественные и техногенные водоемы.

Dreissena rostriformis bugensis Andrusov (Bivalvia, Dreissenidae) – демонстрирует отложенную в сравнении с предыдущим видом инвазию, сравнительную холодноводность, морфологическую пластичность и существование в несвойственных

первому виду местообитаниях. Часто после вселения вытесняет предыдущий вид из обитаний, где они какое-то время сосуществуют.

Эврибионтные прибрежные центрально американские атлантические виды

Mytilopsis leucophaeata (Conrad) (Bivalvia, Dreissenidae). Третий представитель сем. *Dreissenidae* на северо-западе РФ. Это - новая инвазия, которая нуждается в подробном исследовании. Митилопсис имеет иные температурные и соленостные требования, чем первые два вида. Считается более устойчивым к различного вида химическим и тепловым воздействиям.

Виды из южного полушария

Potamopyrgus antipodarum (Gray) (Gastropoda, Hydrobiidae). Партеногенетический вид, ориентировочно происходит из прибрежных вод Новой Зеландии. В историческом ареале есть раздельнополые популяции. В лабораторных условиях переходит к круглогодичному размножению.

Наземные виды

Древесные улитки *Arianta arbustorum* (Linnaeus, 1758). За первое десятилетие нынешнего века плотность поселения арианта в некоторых местах увеличилась до тысяч экземпляров на квадратный метр. В Ленинградской области от экспансии этих улиток особенно страдают садоводы и дачники. В Финляндии также ощутили экспансию вида на их территории северо-восточного направления.

Macrolophus pygmaeus Rambur (Hemiptera: Miridae) - хищный клоп, исходный (естественный) ареал которого - юг Европы и Средиземноморье. Широко применяется для борьбы с белокрылками, паутиными клещами и трипсами.

Географические объекты

1. Лаборатории (кроме дрейссенид все легко культивируется, не исключено, что арианта в условиях лаборатории тоже начнет размножаться круглогодично).
2. Восточная часть Финского залива, включая наземные островные местообитания (арианта встречена на фортах в Невской Губе и в открытой части залива).
3. Озеровидные и озерные водоемы-охладители атомных электростанций (различный генезис – искусственные (Курчатовское водохранилище); тектонические (оз. Удомля), термокарстовые (оз. Песьво). Защита от вандализма при постановке натуральных экспериментов (охраняемые зоны), градиент различных факторов.

8.2. Анализ данных многолетнего мониторинга экосистем континентальных водоемов

8.2.1 Используемые методы и подходы

Основная методическая трудность связана с очень небольшим количеством рядов многолетних наблюдений на континентальных водоемах региона. Несмотря на наличие многочисленных научных учреждений соответствующего профиля и давнюю историю гидробиологических исследований, организации мониторинга уделялось явно недостаточно внимания. Даже на водных объектах, где расположены хорошо оборудованные стационары, наблюдения часто велись от случая к случаю, а специализированные программы мониторинга начаты сравнительно недавно и ведутся еще непродолжительное время [136; 137; 138; 139]. Автором были использованы опубликованные данные таких рядов наблюдений на трех озерах, сильно различающихся по своему географическому положению и морфометрическим характеристикам (таблица 8.2.1).

В конце XX столетия в области исследования многолетней изменчивости климатических и погодных условий и их экологических последствий был достигнут существенный прогресс, связанный с разработкой ряда климатических индексов, являющихся интегральными показателями погодных условий для обширных регионов [140; 141; 142, 143]. В работе использованы наиболее актуальные для района исследований зимние (декабрь—март) индексы *NAO* и *AO*, полученные на сайте Отдела анализа климата Национального центра Атмосферных Исследований (США) [144].

Перед изложением методики статистической обработки материала уместно сделать следующее методологическое замечание. При изучении динамики биологических сообществ следует различать межгодовую и многолетнюю (то есть характеризующую не отдельные годы, а долговременные периоды продолжительностью, как минимум, в несколько лет) изменчивость. Естественно арсенал методов, используемых для анализа этих разномасштабных процессов, должен быть различен. В данной работе при исследовании связи межгодовой динамики сообществ с индексами *NAO* использовался кросскорреляционный анализ. При этом, поскольку биологические явления часто реагируют с запаздыванием на изменения климатических факторов, применялся также сдвиг биологического ряда вперед на один год (ниже приводятся только максимальные значения коэффициентов корреляции). Многолетние тенденции изучались с помощью построения трендов по биологическим данным и их последующего сопоставления с

динамикой климатических индексов. Для количественной оценки степени сопряженности между биологическими и климатическими рядами наблюдений использовался также корреляционный анализ. При этом (в случае если позволяла длина ряда) данные сглаживались с помощью двух- или трехлетнего скользящего осреднения с целью исключения эффекта более высокочастотной (межгодовой) изменчивости.

Таблица 8.2.1 – Морфологическая и лимнологическая характеристика озер, данные наблюдений на которых использованы в работе [138; 139; 145]

| Озеро | Кривое | Сямозеро | Красное |
|--------------------------|--------------|--------------------|-----------------|
| Широта | 66° 21′ | 61° 55′ | 60° 33′ |
| Долгота | 33° 38′ | 33° 11′ | 29° 43′ |
| Средняя глубина | 11,8 | 6 | 6.6 |
| Максимальная глубина | 32 | 24 | 14.6 |
| Площадь, км ² | 0,5 | 256 | 9,13 |
| Показатель водообмена | 0,1 | 0,24 | 0,83 |
| Трофность | олиготрофное | олиго-/мезотрофное | мезо-/эвтрофное |

Таблица 8.2.2 – Характеристика рядов наблюдений, включенных в анализ

| Озеро | Показатель | Количество лет ¹ | Период наблюдений | Источник |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|----------|
| Кривое | Зообентос | 7(7) | 2002-2008 | [28] |
| | Фитопланктон | 7(7) | «» | «» |
| Сямозеро | Зообентос | 16(10) | 1954-1993 | [33] |
| | Зоопланктон | 9(5) | 1973-1993 | [30] |
| Красное | Зообентос | 15(9) | 1991-2005 | [34] |
| | Фитопланктон ² | 30(15) | 1964-2004 | [35] |

Примечания:

¹ В скобках дана продолжительность непрерывных наблюдений.

² Данные получены путем оцифровки рисунка из соответствующей публикации.

8.2.2 Многолетняя динамика озерных экосистем северо-запада России и ее связь с климатическими колебаниями

Во всех исследованных водоемах были отмечены значительные межгодовые и многолетние изменения количественных характеристик планктонных и донных сообществ. Полученные результаты свидетельствуют о тесной взаимосвязи количественного развития биологических сообществ и климатических процессов, по

крайней мере, на уровне многолетних трендов (рисунок 8.2.1). При анализе сглаженным скользящим осреднением рядов во всех озерах были выявлены статистически достоверные связи между биомассой макрозообентоса и климатическими индексами, характеризующиеся высокими коэффициентами корреляции (таблица 8.2.3). Однако обращает на себя внимание не совпадение и даже противоположный характер реакции донных сообществ на изменения *NAO* в разных водоемах. Если для озер Кривое и Красное в целом характерна тенденция увеличения количественного развития бентоса с ростом значений индексов, то в Сязозере наблюдалась обратная картина: биомасса бентоса отрицательно коррелировала с *NAO* и *AO*. Таким образом, на основании этих данных можно констатировать противофазность биологических явлений в разных озерах региона.

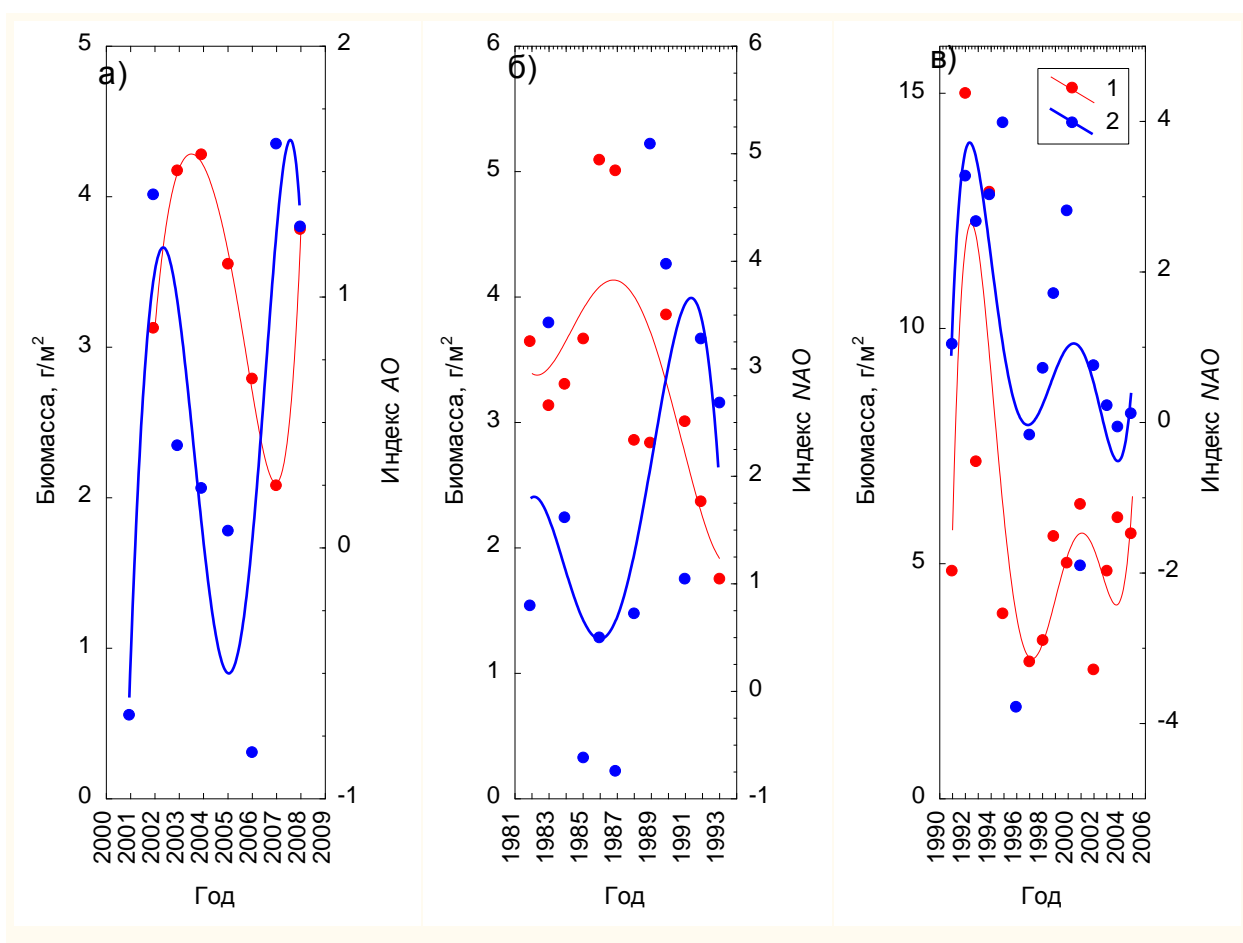


Рисунок 8.2.1 – Многолетняя динамика биомассы макрозообентоса (1) и климатических индексов (2) в озерах Кривое (а), Сязозеро (б) и Красное (в). При проведении линий трендов использована полиномиальная аппроксимация данных.

Таблица 8.2.3 – Коэффициенты корреляции между сглаженными рядами (скользящее осреднение по 2-3 точкам) динамики климатических индексов и биомассы макрозообентоса.

| Озеро | <i>NAO</i> | <i>AO</i> |
|----------|------------|-----------|
| Кривое | +0,34 | +0,96* |
| Сямозеро | -0,83* | -0,82* |
| Красное | +0,83* | +0,78* |

Примечание. * – статистически значимые коэффициенты ($P < 0,05$).

По годам исследованные показатели варьировали в широких пределах. В оз. Кривое изменения в планктоне и бентосе были достаточно близки по амплитуде и имели однонаправленный характер. Биомассы макрозообентоса и фитопланктона положительно коррелировали друг с другом ($r = +0,63$) и индексом *AO* в предшествующий год ($r = +0,89$ и $+0,76$ соответственно для планктона и бентоса). В Сямозеро связь между биомассой макрозообентоса и климатическими индексами тоже была статистически достоверна, но противоположной по знаку. Коэффициент корреляции, рассчитанный по материалам осенней съемки, составлял 0,59, а по средним показателям за вегетационный сезон - 0,95. Сведения по межгодовой динамике планктонных сообществ Сямозеро крайне скудны. Имеются только данные по биомассе зоопланктона осенью, которые характеризовались, как и в случае с бентосом, достаточно хорошо выраженной тенденцией к снижению с увеличением *NAO*. Для общей биомассы зоопланктона связь с *NAO* была статистически не достоверна ($P = 0,056$), однако для биомассы копепод были получены высокие и значимые ($r = 0,87$, $P = 0,002$) коэффициенты корреляции. При анализе межгодовой изменчивости в оз. Красное не было выявлено статистически значимых связей биомассы макрозообентоса ни с количественным развитием планктона, ни с каким-либо климатическим индексом, несмотря на упомянутое выше совпадение многолетних трендов. Среднегодовая биомасса фитопланктона положительно коррелировала с обоими климатическими индексами ($r = +0,43$, $P = 0,02$).

Таким образом, во всех исследованных водоемах биологические процессы чутко реагировали на колебания климата. Однако характер, время и сила ответа отличался в разных озерах (таблица 8.2.4). В озерах Кривое и Сямозеро биомасса макрозообентоса статистически достоверно коррелировала с индексами *NAO* и/или *AO*, только в оз. Кривое сообщества реагировали на изменения климатических условий с задержкой на один год. При этом отмечены параллельные изменения показателей количественного развития пелагических сообществ, то есть высокая биомасса бентоса наблюдалась в годы

повышенной продуктивности планктона. Таким образом, климатические процессы здесь непосредственно влияли общий уровень биологической продуктивности водоемов и, соответственно, очевидно, на условия питания животных. Однако характер этого влияния в двух озерах был прямо противоположным: в оз. Кривое биологические показатели положительно коррелировали с климатическими индексами, в Сямозере знак связи менялся на противоположный. В оз. Красное, как и в остальных исследованных озерах, развитие планктона коррелировало с NAO , но это никоим образом не сказывалось на состоянии бентоса, зависимость которого от климата проявлялась только в масштабе многолетней изменчивости, а межгодовая динамика определялась другими факторами.

Таблица 8.2.4 – Сравнение реакции донных сообществ разных озер на колебания климата и изменения в планктоне

| Озеро | $NAO(AO)_1$ | $NAO(AO)_2$ | Лаг-период | Динамика планктона |
|----------|-------------|-------------|------------|--------------------|
| Кривое | + | + | 1 год | совпадает |
| Сямозеро | - | - | нет | совпадает |
| Красное | 0 | + | нет | нет |

Примечание: + и - – соответственно статистически подтвержденные положительные и отрицательные связи, 0 – связь отсутствует. $NAO(AO)_1$ и $NAO(AO)_2$ – изменения индексов Северо-Атлантического (Арктического) колебания соответственно в межгодовом и многолетнем аспектах.

Несовпадение отклика озерных экосистем на одинаковые изменения одних и тех же абиотических факторов не вызывает удивления, поскольку представляет собой обычное явление. Для объяснения этого явления была предложена оригинальная концепция, образно представляющая особенности самого озера и его водосбора (включая деятельность человека на его территории) виде фильтров, видоизменяющих первоначальный климатический сигнал [146].

Возможные механизмы влияния климатических и погодных условий, зависящих от NAO , на биологические процессы в континентальных водоемах многочисленны и разнообразны [147; 148]. Прежде всего, отметим, что широко известная положительная связь между интенсивностью вертикального перемешивания водной толщи и развитием фитопланктона вследствие увеличения поступления биогенных элементов в эвфотный слой вряд ли актуальна в нашем случае, поскольку это особенность глубоких озер с мощным гипolimнионом [напр. [149, 150]]. В какой-то степени это могло бы иметь отношение к оз. Кривое, где перемешивание воды затруднено из-за довольно значительной глубины при очень маленькой площади зеркала воды. Однако в этом случае, по крайней мере, от планктонных сообществ следовало бы ожидать непосредственной реакции на изменения интенсивности перемешивания уже весной того же года, между тем

именно оз. Кривое отличалось одногодичной задержкой ответа на климатические колебания, что никак нельзя объяснить процессами, происходящими в самом водоеме.

Аналогичным образом прямое влияние *NAO* на развитие фитопланктона через изменение температуры воды, времени замерзания и вскрытия водоема не может объяснить отмеченных нами различий между озерами, поскольку в данном случае реакция водных экосистем на увеличение *NAO* синхронна по всей Европе: происходит сдвиг фенологических явлений в планктоне (весеннее цветение, фаза «чистой воды» и др.) на более ранние сроки и увеличение продолжительности вегетационного периода [151; 152]. К тому же предполагаемая связь между сезонной динамикой планктона и *NAO* в рассматриваемом нами регионе неоднозначна, поскольку для многих озер характерна высокая первичная продукция подо льдом в конце зимы [153], чему могут благоприятствовать как раз годы с отрицательными индексами *NAO* вследствие характерной для них низкой облачности, солнечной погоды и соответственно более благоприятных световых условий для фотосинтеза. Очевидно, ведущую роль в формировании многолетней динамики рассматриваемых нами биологических сообществ играют процессы, происходящими не в самих озерах, а на их водосборе.

Наиболее типичная, по-видимому, для большинства европейских водоемов [154; 155; 156; 157; 158] ситуация наблюдалась в оз. Кривое, где развитие планктона и бентоса положительно коррелировало с индексами *NAO* и *AO*. Возможный механизм влияния климатических и погодных условий, характерных для периодов высоких индексов *NAO*, на планктон и бентос оз. Кривое связан со следующим. Прежде всего, уже само повышенное количество осадков в годы высоких индексов должно вести к увеличению поступления питательных веществ в озеро. Кроме того, имеются основания полагать, что содержание биогенных веществ в поверхностном стоке после мягких (высокий индекс *NAO*) зим должно заметно увеличиваться. Экспериментальные исследования и натурные наблюдения показали, что слабый и поздно формирующийся в такие зимы снежный покров не защищает почву от промерзания, которое повреждает корневую систему растений и негативно сказывается на почвенной микрофлоре [159, 160, 161]. Разложение мертвых корней и снижение потребления растительностью соединений азота и фосфора ведут к повышению их концентрации в почвенном растворе и последующему выносу в водоемы [160]. Это подтверждается также данными финских исследователей, которые обнаружили положительную корреляцию содержания в озерной воде нитратов с *NAO* и отрицательную с глубиной снежного покрова [162]. Возможно, существует также дополнительный фактор, снижающий эффективность использования биогенных элементов на водосборе. Так, по мнению норвежских исследователей [163] снижению

продуктивности наземной растительности в полярных районах в годы высоких величин индекса *АО* способствует холодная, облачная и дождливая погода в летнее время. Выше изложенное логичным образом объясняет и запоздалую реакцию сообществ оз. Кривое. Весенний паводок при сильном промерзании водосбора в условиях сурового северного климата не может вести к обогащению озера биогенными веществами ввиду их низкого содержания в талых водах, которые в этот период, по-видимому, наоборот «разбавляют» озерные воды с более высокой концентрацией. Максимум поступления биогенных веществ должен наблюдаться позднее после полного оттаивания грунтов и, по-видимому, приурочен ко второму осеннему паводку. Таким образом, в годы положительных аномалий *NAO* в летне-осенний период вследствие увеличения количества осадков и снижения потребления биогенных элементов наземными сообществами биогенный сток в оз. Кривое, по-видимому, увеличивается, обеспечивая благоприятные возможности для развития фитопланктона в следующем году. Повышение продуктивности планктона соответственным образом отражается и на других компонентах озерной экосистемы, в частности зообентосе.

В формировании реакции Сямозеро на климатические колебания ведущую роль, по-видимому, играет высокое содержание в воде аллохтонных растворенных органических веществ, поступающих с заболоченного водосбора. Судя по показателям цветности (30–40 градусов) озеро относится к мезогумозным водоемам. О повышенном содержании гуминовых веществ свидетельствует также широкое распространение железорудных донных отложений, занимающих 22% площади дна [138]. В данной ситуации вызванное *NAO* увеличение осадков и поверхностного стока будет способствовать выносу в озеро аллохтонных органических веществ и дальнейшей гумификации водоема. Известно, что высокое содержание растворенной органики ухудшает световые условия для фотосинтеза, лимитируя первичную продукцию в гумифицированных озерах [164]. По-видимому, в Сямозеро этот эффект усугубляется из-за обширной водной поверхности, способствующей ветровому перемешиванию, и относительной мелководности (см. таблицу 8.2.1). Увеличение глубины эпилимниона и ресуспензия донных отложений при сильных ветрах, а также высокая облачность в годы высоких индексов *NAO* еще более ухудшают световые условия для фитопланктона. Отрицательная корреляция количественных показателей фитопланктона с атмосферными осадками, стоком и содержанием растворенных органических веществ отмечена и в других озерах Фенноскандии [165]. Наконец еще один известный эффект гумификации – негативно влияющий на продуктивность водоема – увеличение численности бактерий, конкурирующих с фитопланктоном за ограниченные запасы фосфатов. Структурная

перестройка в пелагической трофической сети в сторону увеличения бактериальной продукции в ущерб роли фитопланктона неблагоприятно сказывается на развитии донных сообществ. В частности, значительный приток растворенных органических веществ из-за увеличения речного стока считается главной причиной снижения в последние годы биомассы бентоса в Ботническом заливе [166; 167; 168].

Несовпадение межгодовой динамики биомасс макрозообентоса и фитопланктона в оз. Красное, по всей видимости, свидетельствует, что пищевые ресурсы здесь не ограничивают развитие донных сообществ по причине более высокого трофического статуса этого водоема. Интересно, что хотя воды оз. Красное довольно сильно окрашены гумусом (20—50 градусов) [169], развитие фитопланктона, в отличие от Сямозера, здесь положительно коррелирует с индексом *NAO*. Можно предположить, что с повышением уровня трофности роль поступления аллохтонных растворенных органических веществ, как фактора определяющего реакцию планктонного сообщества на колебания климата, отходит на второй план. По-видимому, в эвтрофных озерах богатый вынос в озеро биогенных элементов с освоенного в хозяйственном отношении водосбора в годы повышенного выпадения атмосферных осадков (то есть при положительных аномалиях *NAO*), компенсирует выше перечисленные негативные последствия гумификации. Сравнивая многолетнюю динамику *NAO* и бентоса оз. Красное можно отметить резкий перелом в ходе обоих процессов в середине 1990-х гг. Наиболее критическое в этом отношении время, ноябрь 1995 – февраль 1996, ознаменовало собой окончание 15-летнего периода положительных аномалий *NAO* и начало перехода к отрицательной фазе нового цикла [170]. Это время характеризовалось значительными отклонениями многих климатических показателей от среднееголетней нормы в глобальном масштабе и сопровождалось многочисленными, часто драматическими, изменениями в природных экосистемах. Для нашего региона наиболее актуальны последствия экстремально суровой зимы 1995/1996 гг. Длительный ледовый период привел к развитию гипоксийно-аноксийных явлений в эвтрофных водоемах самого разного типа. В частности, к 1996 г. приурочено начало катастрофического обеднения донных сообществ восточной части Финского залива вследствие ухудшения кислородного режима глубинных вод [171; 172], являющееся одной из главных причин структурно-функциональной перестройки в экосистеме залива [173]. Рекордно низкая за 35-летний период наблюдений концентрация растворенного кислорода в этот год была зафиксирована также в эстонском озере Выртсъярв [174]. В оз. Красное, к сожалению, в 1996 г. исследований зообентоса не проводилось, но имеющиеся гидрохимические данные свидетельствуют об ухудшении кислородных условий начиная с 1997 г. [169]. По-видимому, донные сообщества оз.

Красном, также как в Финском заливе и других эвтрофных водоемах региона, подверглись в 1996 г. разрушительному воздействию придонной гипоксии, возникновение которой связано с характерными для отрицательной фазы *NAO* погодными явлениями (слабое ветровое перемешивание и раннее замерзание водоема), что проявилось в совпадении многолетних трендов биомассы бентоса и индексов *NAO*.

На основании рассмотренных данных по динамике биологических сообществ на Северо-западе России можно выделить по меньшей мере два типа водоемов, противоположным образом реагирующих на изменения климатических факторов: светлые неокрашенные «*NAO*-положительные» озера, характеризующиеся общим увеличением уровня биологической продуктивности при повышении *NAO*, и гумифицированные «*NAO*-отрицательные». Возможно, водоемы, подвергающиеся антропогенному эвтрофированию, представляют собой еще один отдельный третий тип. Хотя имеющейся информации недостаточно для формулировки надежных выводов, можно, основываясь на примере оз. Красное, высказать некоторые общие предварительные соображения. В целом, для биоты эвтрофных озер характерна положительная корреляция количественного развития с *NAO*, но, случае донных сообществ она, по-видимому, выражена слабее и проявляется иначе, чем в водоемах первого типа. Если в олиготрофных и гумифицированных озерах влияние климатических факторов на бентос осуществляется опосредовано через общее повышение продуктивности водоема, то в эвтрофных имеет место прямой физический контроль через развитие гипоксии. Донные сообщества при этом реагируют здесь только на значительные изменения индекса, сопровождавшиеся аномальными погодными явлениями.

Однако необходимо подчеркнуть, что и при антропогенном воздействии многолетняя динамика сообществ также контролируется климатическими факторами. Причем ряд биологических явлений, тесно связанных с эвтрофированием (гипоксия и ее последствия), был удивительно синхронен на протяжении обширного региона и по времени совпал со сменой фаз *NAO*. В данном случае климатические факторы играют синхронизирующую роль, как бы модулируют антропогенное влияние, формируя общий циклический характер динамики бентоса. В целом, складывается впечатление, что реакция эвтрофных водоемов на климатические события более единообразна по сравнению с остальными и менее зависит от особенностей водосбора и географического положения.

Из сказанного ясно, что связь процессов в озерных экосистемах с *NAO* необходимо учитывать при кадастровых исследованиях и интерпретации данных экологического мониторинга, поскольку исследования, выполненные в разные фазы климатического цикла даже на одном и том же водоеме, заведомо приведут к разным результатам.

Пренебрежение этим может привести к неправильным оценкам трофического статуса озер, а также причин происходящих изменений. В частности, например, вывод об интенсивном эвтрофировании Сязозера [138] по нашему мнению весьма сомнителен. Он основан, главным образом, на изменениях в составе зоопланктона, прежде всего, снижении роли веслоногих ракообразных, биомасса которых, однако, в значительной степени, зависела от *NAO* (рисунок 2.1).

Рассчитанные нами коэффициенты корреляции биомасс планктона и бентоса с климатическими индексами в озерах Северо-запада России, выше, чем в большинстве публикациях западных исследователей, в которых связь биологических показателей с *NAO* выявляется на очень продолжительных рядах наблюдений и, как правило, после более изощренной статистической обработки данных [175]. В частности обычно проводится процедура удаления линейных трендов, вызванных антропогенным эвтрофированием [176; 155; 151; 162]. По-видимому, более тесная зависимость биологических показателей от климата не является следствием каких-либо региональных особенностей Северо-запада России, а связана с менее значительной антропогенной трансформацией природных ландшафтов. Тем ни менее, мнение, что на востоке Европе влияние *NAO* на количественное развитие биологических сообществ выражен слабее, чем на западе [156], нуждается в коррекции, по крайней мере в отношении северных районов. Однако, на основании данных по оз. Кривое, можно предположить более тесную связь биологических показателей на Северо-востоке Европы с более глобальным, отражающим условия в масштабах всего Северного полушария индексом *AO*, а не с *NAO*, роль которого важна в прилегающих к Атлантике регионах.

В заключение отметим, что вызванные повышением *NAO* изменения в водных экосистемах, могут служить хорошей натурной моделью для исследования процессов, связанных с прогнозируемым многими экспертами грядущим потеплением климата. Причем вследствие зависимости этих изменений от событий на водосборе, их, по-видимому, можно рассматривать также в качестве индикатора состояния наземных ландшафтов. Представленные результаты свидетельствуют о неоднозначности и противоречивости ответа разных озер на климатические колебания. Даже на основании очень ограниченного материала, имеющегося в нашем распоряжении, можно сделать вывод о противофазном характере динамики биологической продуктивности, по крайней мере, гумифицированных и неокрашенных озер региона. Изучение роли *NAO* будет способствовать дальнейшему пониманию происходящих при изменениях климата процессов в биологических сообществах водоемов, формируя основу для их прогноза.

8.3 Инновационное развитие Санкт-Петербургской энтомотаксономической школы и ее роль в изучении природных экосистем

8.3.1 Общее состояние изученности проблемы

Исследования биологического разнообразия насекомых ведутся во всех крупнейших естественно-исторических музеях и других научных учреждениях мира, но в большинстве случаев они ограничены отдельными систематическими группами или регионами. Учитывая огромное количество таксонов насекомых, высококвалифицированных специалистов по многим из них не хватает, в результате чего изученность некоторых групп и региональных фаун остается все еще довольно слабой. Применение в последние годы ряда новейших методов исследования, в первую очередь молекулярно-генетических, привело к описанию так называемого «криптического» разнообразия даже там, где степень изученности представлялась почти стопроцентной. Кроме того, изменения границ ареалов и инвазии ряда видов, связанные с глобальными техногенными и климатическими процессами, способствовали заметным изменениям в структуре биологического разнообразия на различных территориях, включая и Северо-Запад европейской части Российской Федерации. Таким образом, несмотря на более чем двухвековую историю своего развития, систематика насекомых все еще далека от полного описания чрезвычайного обилия их форм, и объем работ по выявлению регионального и глобального разнообразия по-прежнему представляется здесь практически безграничным.

8.3.2 Основные направления и кадровый потенциал исследований

Главными направлениями проводимых в Зоологическом институте РАН работ в области систематики насекомых являются изучение таксономического разнообразия отечественной и мировой фауны на основе глубоких сравнительно-морфологических и морфо-функциональных исследований различных групп из всех крупных отрядов насекомых, выявление их биологических особенностей и закономерностей географического распространения, разработка вопросов классификации, эволюции и филогении. Приоритетом традиционно служит подготовка фундаментальных таксономических ревизий в объеме Палеарктики и мировой биоты в целом, а также изучение генезиса региональных и глобальных фаун и их инвентаризация с созданием соответствующих каталогов. При этом для обоснования филогении и построения системы привлекаются не только рецентные, но и ископаемые формы, а в последние годы также используются новейшие цитогенетические и молекулярно-генетические методы исследования. Большое внимание уделяется и подготовке разного рода определителей и

справочников, имеющих важное значение для развития отечественной прикладной энтомологии. В основе всей этой работы лежит изучение фондовой коллекции Зоологического института РАН, которая является крупнейшим в России и одним из крупнейших в мире депозитарием уникальных, в том числе и типовых (эталонных) материалов видов, описанных с территории Палеарктики, из Ориентальной и Неотропической областей, а также некоторых других регионов многими отечественными и зарубежными исследователями.

Надежное кадровое обеспечение проводимых исследований обусловлено тем, что в лаборатории систематики насекомых сложился уникальный коллектив высококвалифицированных специалистов (14 докторов и 18 кандидатов биологических наук) по всем крупным отрядам насекомых. На базе лаборатории официально зарегистрирована Санкт-Петербургская энтомотаксономическая школа (научный руководитель д.б.н. С.Ю. Синев), обладающая многолетними научно-исследовательскими традициями и богатым опытом подготовки научных кадров [177]. Деятельность этой школы имеет широкое признание, как в России, так и за рубежом, свидетельством чему служит востребованность ее представителей в качестве ведущих мировых экспертов по изучаемым ими группам.

8.3.3 Обзор полученных результатов

В результате многолетних исследований нескольких поколений представителей Санкт-Петербургской энтомотаксономической школы в той или иной мере оказались охвачены почти все отряды насекомых: жесткокрылые, перепончатокрылые, чешуекрылые, двукрылые, полужесткокрылые, прямокрылые, равнокрылые, сетчатокрылые, а также различные группы амфибиотических насекомых. Всего было подготовлено и опубликовано почти 70 томов Фауны России (СССР) и более 40 определителей по фауне различных семейств и подсемейств, не говоря уже о бесчисленных научных статьях с ревизиями таксонов высокого ранга и описаниями сотен новых для науки видов. Огромное значение для отечественной энтомологии имело издание, начиная с 1964 года, многотомного «Определителя насекомых европейской части СССР». По охвату территории и представленных в ее фауне видов этот фундаментальный труд не имел аналогов в мире, поскольку включил оригинальные ключи для определения около 40000 видов и учитывал все новейшие для своего времени данные по фауне насекомых Восточной Европы, их таксономии, морфологии, распространению и образу жизни. С момента своего создания определитель стал настольной книгой для специалистов, работающих в области как фундаментальной, так и прикладной

энтомологии; большинство книг этого издания было переведено за рубежом на английский язык. Во второй половине 20-го столетия много внимания уделялось и изданию справочников по насекомым-вредителям, к числу которых относятся «Вредные животные Средней Азии», «Определитель насекомых, повреждающих деревья и кустарники полезающих полос», двухтомник «Вредители леса», «Насекомые, вредящие кукурузе в СССР», а также справочник «Насекомые и клещи – вредители сельскохозяйственных культур» в четырех томах. По результатам обработки материалов советско-монгольских экспедиций было выпущено 11 томов сборника «Насекомые Монголии», содержащих описания многих тысяч видов монгольской фауны, в том числе нескольких сотен видов, новых для науки. Совместно со специалистами-энтомологами других научных учреждений нашей страны был реализован еще один крупный проект – многотомный Определитель насекомых Дальнего Востока России. В последние годы опубликован целый ряд фундаментальных монографических работ по различным группам насекомых: не имеющий аналогов первый отечественный каталог чешуекрылых России [178]; определители по фауне России и сопредельных территорий по муравьиным львам [179], кривоусым молям [180] и одиночным пчелам [181]; аннотированный каталог перепончатокрылых Дальнего Востока России [182]; ревизия цветочных пядениц Китая [183]; иллюстрированный каталог фульгуроидных цикадовых западной Палеарктики [184]; каталог серых молей мировой фауны [185], и др.

Огромный научный материал был собран представителями школы во время полевых работ в самые различные регионы нашей страны, а нередко и далеко за ее пределы, преимущественно в Юго-Восточную Азию. Из крупных комплексных экспедиций, проведенных за последнее столетие, следует назвать тематические экспедиции на юг Дальнего Востока, в Западный Казахстан и Туркмению, в Китай, Центральный Казахстан и Монголию и другие. На регулярной основе осуществляются полевые фаунистические и мониторинговые исследования на территории севера и северо-запада Европейской части России.

За прошедшие годы были не только осуществлены совершенно исключительные по своим масштабам описание и критический анализ накопленного фактического материала, но и внесен существенный вклад в решение некоторых важных теоретических проблем. На основе детальных исследований как современных, так и ископаемых форм много нового было внесено в общую систему класса насекомых. Успешно разрабатывались актуальные вопросы методологии филогенетических исследований, общей и частной зоогеографии, эволюционной морфологии; классическими признаны работы по проблемам экологической зоогеографии пресноводных организмов и связей фаун

Палеарктики и Неарктики, о составе и происхождении арктической фауны, о пределах и зоогеографических подразделениях Палеарктической области и истории развития альпийских фаун и др. Широко применяются в практике энтомологических исследований предложенные нашими сотрудниками варианты классификации и номенклатуры ареалов. Активно ведется работа по внедрению современных цитогенетических и молекулярно-генетических методов в практику таксономических исследований и в этом направлении уже получены чрезвычайно интересные результаты. Большое внимание уделяется разработке специализированных энтомологических компьютерных баз данных.

За последние полвека Санкт-Петербургская энтомотаксономическая школа подготовила сотни специалистов-систематиков, работающих во всех регионах России, в странах СНГ и дальнего зарубежья. Под руководством сотрудников лаборатории систематики насекомых было защищено более 200 кандидатских и почти 100 докторских диссертаций. Выпускники школы трудятся в десятках научных учреждений и университетов по всему миру. С большинством из них поддерживаются самые тесные научные связи, что позволяет успешно развивать широкую внутрироссийскую и международную кооперацию в проведении энтомологических исследований, участвовать в многочисленных совместных научных проектах.

8.3.4 Наиболее важные направления дальнейших исследований

Учитывая устойчивые традиции проводимых в Зоологическом институте РАН исследований по систематике основных групп насекомых, связанные с разработкой таксономических, зоогеографических и филогенетических аспектов изучения фауны России и мировой фауны в целом, а также современные тенденции развития мировой науки, можно выделить несколько основных направлений, по которым необходимо вести дальнейшую работу для сохранения лидирующего положения отечественной систематической энтомологии.

(1) Современные представления о биологическом разнообразии насекомых в значительной мере основываются на результатах, достигнутых энтомологической наукой с применением арсенала традиционных (классических), преимущественно морфологических методов. Интенсивно разрабатываемые в последние годы новейшие цитогенетические и молекулярно-генетические методы исследования открывают новые возможности в плане описания так называемого «криптического» разнообразия, в некоторых группах мелких насекомых весьма значительного. Поэтому главным направлением дальнейших работ в области систематики насекомых должна стать

интеграция традиционных и инновационных методов исследования, которая позволит создать адекватное представление о разнообразии изучаемых таксонов [186].

(2) Выявление и оценка биологического разнообразия происходит в рамках комплексных таксономических ревизий соответствующих систематических групп, качественное проведение которых могут обеспечить лишь высококвалифицированные специалисты. Базовым элементом таких ревизий служит типификация таксонов, то есть выделение и всестороннее изучение эталонных (типовых) экземпляров, являющихся носителями научных названий. Поиск таких экземпляров, их правильное обозначение и исследование с применением самых современных методов представляет собой научную задачу первостепенной важности, поскольку любые неточности, допущенные при типификации таксонов, могут привести к цепи ошибочных заключений на всех уровнях изучения биологического разнообразия и существенно исказить, а то и совершенно обесценить полученные результаты.

(3) Таксономические ревизии с применением самого современного арсенала методов исследования позволят обеспечить более качественную диагностику таксонов, необходимую для выделения видов-индикаторов состояния конкретных экосистем или общего состояния окружающей среды. Это гарантирует надежный текущий экологический мониторинг, а наличие в коллекции Зоологического института РАН обширных материалов, собранных за почти двухвековой период, дают возможность отслеживать многолетнюю динамику биоразнообразия в ряде регионов нашей страны.

(4) Структурирование биоразнообразия в виде иерархической системы таксонов имеет важное прогностическое значение, поскольку знание основных экологических и этологических свойств видов, заложенное в такой системе, дает возможность предвидеть появление новых вредящих видов из числа потенциально вредных. Достоверность же сведений о таксономическом разнообразии насекомых на тех или иных территориях и регулярный мониторинг его изменений облегчают своевременное обнаружение опасных инвазивных видов, число которых в последние годы неуклонно растет в связи с глобализацией экономических связей, серьезными климатическими изменениями и антропогенным прессом на экосистемы.

(5) Успешное развитие исследований в области систематики насекомых сейчас уже невозможно без использования инновационных информационных технологий, к числу которых относятся создание специализированных компьютерных баз данных и электронных определителей, получение и обработка высококачественных цифровых изображений и пр.

В исследованиях по биологическому разнообразию особое значение имеет их преемственность, которая обеспечивается существованием сложившихся, эффективно функционирующих и динамично развивающихся научных школ. Поэтому еще одним важным направлением работы должна стать подготовка на базе Санкт-Петербургской энтомотаксономической школы высококвалифицированных научных кадров, что будет в полной мере способствовать воспроизводству и дальнейшему формированию научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга.

Полученные результаты, благодаря существующей разветвленной системе международных научных связей, будут органично интегрированы в систему аналогичных исследований за рубежом и полностью соответствовать мировым стандартам, обеспечивая повышение престижа отечественной науки и укрепление статуса Санкт-Петербурга и Зоологического института как крупнейших мировых центров изучения проблем биологического разнообразия.

8.4 Анализ воздействия природных и антропогенных факторов на экологическое состояние и биотические компоненты экосистемы Невской губы и восточной части Финского залива на основе использования современных космических технологий

По состоянию на 2008 год, половина исследований (около 50%), проводимых в рамках приоритетного направления ФЦП «Рациональное природопользование», концентрировалось в области наук о Земле. Затем шли биология и медицинские науки (примерно 17%). На долю остальных областей знания приходилось чуть больше 30%. Эти данные были приведены начальником отдела ориентированных фундаментальных исследований РФФИ Еленой Рудцкой в Минобрнауки на круглом столе, посвящённом вопросам рационального природопользования 13 октября 2008. Было отмечено, что наибольшее количество научных работ, относящихся к рациональному природопользованию (до 60%), проводились в академическом секторе (лидирующее положение занимало РАН), а также в вузах, по материалам «Наука и технологии России» — STRF.ru (http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d_no=16126).

По данным Института проблем развития науки РАН (http://www.issras.ru/stat.php?id_s=203) в 2012 г. в фундаментальных исследованиях вузов 56,1% внутренних текущих затрат приходилась на естественные науки (9,6 млрд. руб.), 15,5% – на технические исследования (2,7 млрд. руб.) и на общественные исследования – 14,9% (2,5 млрд. руб.).

В статье член-корреспондента РАН, директора ИПРН (Института проблем развития науки) РАН Миндели Л. Э. [187] отмечается, что с момента создания Российская академия наук была ориентирована на решение фундаментальных научных задач. Основная цель ее деятельности заключалась в «генерации новых знаний». В настоящее время на долю институтов РАН приходится примерно две трети фундаментальных исследований, проводимых в нашей стране. Именно этим определяется основное место РАН в формируемой национальной инновационной системе России. Однако сегодня роль РАН существенно меняется. Прежде всего, это обусловлено общемировой тенденцией роста практической значимости фундаментальных исследований в результате стирания граней между фундаментальными и прикладными работами. Из фундаментальных исследований вычленяются ориентированные, в которых познание базовых закономерностей природы и общества непосредственно соединяется с установками на достижение

определенных практических целей. К таковым можно отнести методы дистанционного зондирования Земли.

Исследование качества воды на основе дистанционных методов основано на тематическом дешифрировании и интерпретации оптических неоднородностей поверхностного слоя моря, регистрируемых на спутниковых или аэро- снимках. Информацию об оптических свойствах районов моря можно получить с космических систем (КС) путем дистанционных измерений спектральных яркостей восходящего излучения, содержащих информацию об оптически активных веществах.

Пространственное и временное распределение гидрооптических характеристик вод отражает распределение концентрации растворенного и взвешенного вещества, органического и минерального происхождения. Для прибрежных вод Невской губы и восточной части Финского залива на образование оптически активных веществ оказывают влияние: эрозия берегов, речной сток, поднятие донных отложений, развитие фитопланктона, турбулентное перемешивание, техногенное воздействие, гидродинамические процессы и т. п.

Использование возможностей современных космических и компьютерных технологий позволяет осуществлять экологический мониторинг водных объектов, определять параметры качества вод и получать картину их пространственного распределения, исследовать пространственно-временную изменчивость гидрофизических полей.

Объективные данные о пространственном распределении гидрофизических полей при проведении комплексных (судовых и аэрокосмических) исследований позволяют провести оптимальную интерполяцию точечных судовых измерений параметров качества вод и выявить корреляционную зависимость гидробиологических, гидрофизических и гидрохимических параметров с оптически активными ингредиентами, регистрируемыми дистанционными методами, оценить экологическую ситуацию в акватории.

В последние годы наблюдается стремительное развитие космических и компьютерных технологий необходимых для обработки, архивации, тематической обработки и анализа данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли к настоящему времени достигли принципиально нового уровня развития. Их отличает высокая стабильность и многократность наблюдений, глобальность, наличие достаточного длинных рядов данных, возможность воссоздания количественных характеристик состояния окружающей среды. Разрабатывается современная аппаратура для съёмки Земли из космоса, и создаются совершенно новые методы и технологии обработки спутниковых данных. Это позволяет,

с одной стороны, создавать прикладные системы для решения насущных потребностей общества, с другой – на новом уровне решать многочисленные научные вопросы, связанные с наблюдением состояния и динамики природных объектов (<http://www.ecolife.ru/infos/agentstvo-ekoinnovatsijj/20831/>). Технологии и методы дистанционного зондирования земли используются при решении различных хозяйственно-экономических и природоохранных задач, для мониторинга и картографирования хозяйственной инфраструктуры и окружающей природной среды.

Все эти вопросы рассматриваются на ежегодных открытых Всероссийских конференциях ИКИ РАН. С 2003 года конференции проводятся во второй половине ноября, в Москве в Институте космических исследований при поддержке Российской академии наук, Федерального космического агентства и Российского фонда фундаментальных исследований.

Совсем недавно, 10–14 ноября 2014 года, в Москве, ИКИ РАН, прошла очередная XII Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса – физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов»

Комплексный ретроспективный анализ ретроспективного анализа данных спутникового мониторинга акватории для интерпретации результатов многолетних гидробиологических наблюдений. ВЧФЗ

8.4.1 Комплексный ретроспективный анализ данных спутникового мониторинга Финского залива и результатов многолетних гидробиологических наблюдений

Вопросы обнаружения и оценки интенсивности загрязнения приповерхностного слоя моря взвешенными веществами тесно связаны с экологическими проблемами. Оцениваемые по данным дистанционного зондирования в оптическом диапазоне спектра, глубина прозрачности и общее содержание взвеси являются элементами экологического состояния водоема и показателями качества воды.

Загрязнение морей и внутренних водоемов взвешенными осадками при техногенных воздействиях (намыв территорий, дноуглубительные работы, дампинг грунта в подводные отвалы и др.) приводит к значительному понижению прозрачности (повышению мутности) вод, сокращению толщины эвфотического слоя, заилению местообитаний. Особую опасность представляет перенос и осаждение загрязненных взвешенных осадков.

Регистрируемые на спутниковых изображениях вариации яркости излучения моря могут быть обусловлены следующими факторами: отражением от дна (в мелководных

районах с относительно прозрачными водами), развитием фитопланктона и донной растительности, неоднородностями водной поверхности (поверхностные течения, нефтяные разливы и другие ПАВ), взвешенными органическими и минеральными веществами, атмосферными неоднородностями.

В большинстве случаев, используя мультиспектральные спутниковые данные и априорные справочные материалы о глубинах, прозрачности вод, концентрациях взвеси, периодах «цветения» моря, типовых схемах течений в различных гидрометеорологических условиях и др., можно определить, связаны ли наблюдаемые неоднородности яркости моря с изменением оптических характеристик водных масс или с влиянием иного фактора.

Ниже представлены результаты междисциплинарных исследований проведенных с целью анализа воздействия естественных и антропогенных факторов на экологическое состояние и биотические компоненты (на примере моллюска *Dreissena polymorpha*) экосистемы Невской губы и восточной части Финского залива (ВЧФЗ) на основе использования современных космических технологий.

В исследовании использовались данные регулярного спутникового мониторинга акватории Невской губы и восточной части Финского залива, осуществлявшегося в последнее десятилетие на основе использования спутниковых изображений Terra/MODIS и Aqua/MODIS с пространственным разрешением 250м. Данные MODIS предоставляются национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США NASA, сайт http://modis.gsfc.nasa.gov/modis/instrument/modis_specs.html.

Кроме того, при проведении комплексного анализа данных дистанционного зондирования ВЧФЗ и результатов гидробиологических полевых наблюдений, использовались архивные и современные изображения спутниковой системы LANDSAT с пространственным разрешением 15-30м, предоставляемые зарегистрированным пользователям Геологической службой США (USGS) на бесплатной основе (портал USGS – <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>).

Тематическое дешифрирование ряда разновременных космических снимков ВЧФЗ направлено на выявление изменчивости параметров качества вод, выявления зон повышенной мутности и ареалов развития фитопланктона, прибрежных апвеллингов и особенностей динамики поверхностных вод, и транспортировки взвешенных осадков.

Для получения корректных результатов при дешифрировании и тематической интерпретации спутниковых изображений моря необходимо анализировать все выше указанные факторы, которые могли повлиять на формирование сигнала на уровне ИСЗ.

Описание методов качественной и количественной оценки общей взвеси в поверхностных водах Невской губы и ВЧФЗ на основе использования ДДЗ приведены в работе [188]. Здесь для качественной оценки степени загрязнения акватории взвесью выделяется шесть градаций: 1 – относительно чистые фоновые воды, 2 – очень низкая, 3 – низкая, 4 – средняя, 5 – высокая и 6 – очень высокая.

Для оценки изменчивости экологического состояния ВЧФЗ в рассматриваемый период использовались: архивные и современные КС, материалы гидрометеорологических и гидробиологических наблюдений, и регионально ориентированные базы знаний [189, 190].

Данные гидрометеорологических наблюдений были предоставлены ФГБУ «Северо-Западное УГМС». Отбор проб для анализа межгодовой изменчивости биомассы и размерно-возрастного состава поселений дрейссены, выполнялся легководолазным методом в районе пос. Зеленогорск (рисунок 8.4.1), в период с 2002 по 2008 гг.

Дрейссена имеет долгую историю инвазий в Балтийское море [191] и ныне повсеместно распространена в прибрежной зоне ВЧФЗ на каменистых субстратах мелководий от комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС) до границ Российского сектора ВЧФЗ, в том числе на акваториях, периодически оказывающихся в зоне воздействия гидротехнических работ, ведущихся в Невской Губе (рисунки 8.4.2, 8.4.3).

В прибрежных биотопах морей массовые и относительно долгоживущие донные организмы-сестонофаги, имеющие в жизненном цикле планктонную личинку и ведущие во взрослом состоянии прикрепленный образ жизни – ключевые виды-эдификаторы и важные индикаторы воздействий различных факторов. В мелководной прибрежной зоне Курортного района Санкт-Петербурга такой организм - *Dreissena polymorpha* Pallas.

Dreissena polymorpha – понто-каспийский (низкобореальный) вид двустворчатых моллюсков, сравнительно теплолюбивый, имеющий недавнее морское происхождение (мезолимнический) и сохранивший в своем жизненном цикле планктонную личиночную стадию более уязвимую в сравнении со взрослым организмом по отношению к естественным (например, понижения температуры и повышения солености) и антропогенным воздействиям. Во взрослом состоянии *Dreissena polymorpha* ведет прикрепленный образ жизни, ограничивающий способность к избеганию длительных неблагоприятных воздействий.

Значения количественных показателей (численности и биомассы) поселения дрейссены на выбранном модельном участке, наблюдаемом с 1998 г., подвержены резким колебаниям, рисунок 8.4.2А. Данное поселение (равно как и большинство других в

пределах мелководного района [192]) часто характеризуется преобладанием особей старших возрастов 2+ и старше), что несвойственно этому виду на основной части исторического и приобретенного ареалов [193].

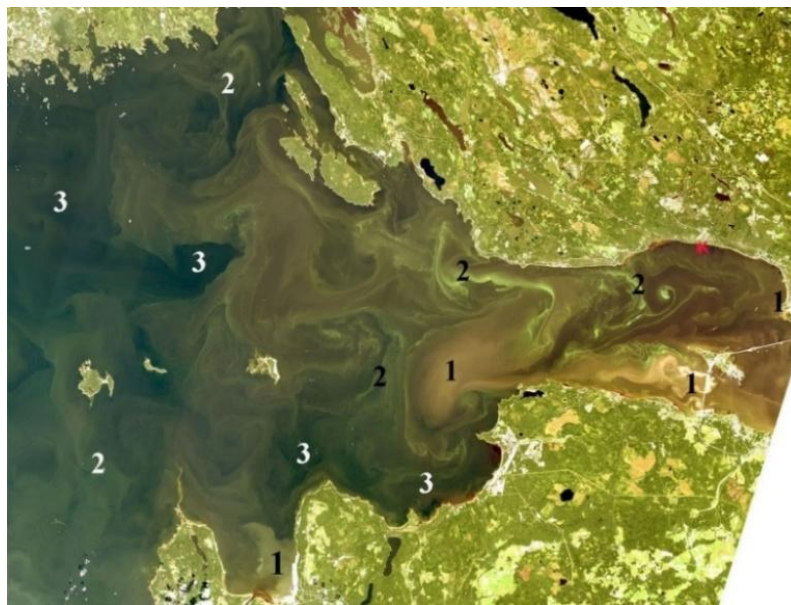


Рисунок 8.4.1 – Синтезированное RGB изображение (каналы 432) ВЧФЗ по данным LANDSAT-8 от 25.08.2013г: 1 – зоны с разной степенью загрязнения акватории ВВ, 2 – развитие фитопланктона, 3 – апвеллинговые воды. Красной меткой маркировано местоположение отбора проб для гидробиологических исследований

(Молодь и годовики могут отсутствовать вовсе (рисунок 8.4.2Б) – например в 1998, 2001-2003, 2006-2007гг., что в отдельные годы (1998, 2003, 2006-2007) может сопровождаться резким снижением биомассы, рисунок 8.4.2А). Состояние популяции в каждый отрезок времени, оцениваемое при гидробиологических исследованиях по количественным и демографическим показателям, обусловлено соотношением трех основных процессов: пополнения популяции молодыми особями, элиминации (смертность особей от различных причин) и роста особей, протекающего у разных возрастных групп неодинаково [194].

Исследуемый временной интервал (2003-2013 гг.) определен с учетом охвата, трех периодов в экологическом состоянии Невской губы и ВЧФЗ, выделенных на основе анализа данных регулярного спутникового мониторинга акватории:

1 – период до начала интенсивных гидротехнических работ, с 2003г. по сентябрь 2005г., рисунок 8.4.3а;

2 – период осуществления крупномасштабного Проекта «Морской фасад Санкт-Петербурга» (с большим объемом дреджинговых работ), с конца 2005г. по 2008г., рисунок 8.4.3 б, в, г, д;

3 – период после завершения названного Проекта, см. рисунок 8.4.3е.

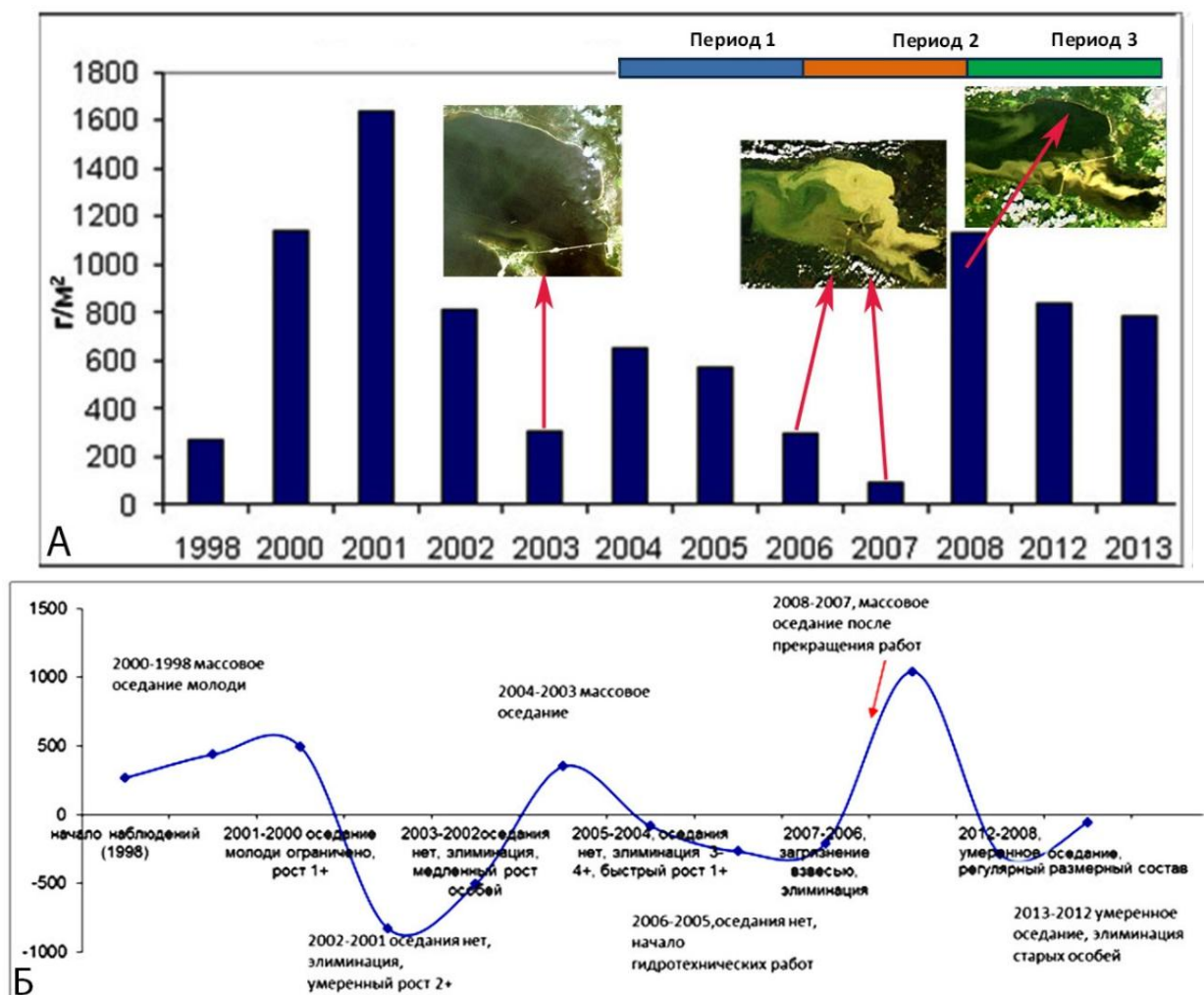


Рисунок 8.4.2 – Межгодовая динамика биомассы поселения дрейссены, расположенного в зоне влияния гидротехнических работ и апвеллингов – А, скорость изменения биомассы поселения дрейссены – Б

Спутниковые наблюдения периода 2006-2007гг. [189, 195] свидетельствуют о том, что зоны с высокой и очень высокой степенью загрязнения вод тонкодисперсными алевроглинистыми осадками охватывали значительную часть акватории (рисунок 8.4.3 в, г). По данным КС мутные воды распространялись на значительные расстояния от источников, до 150 – 200 км (рисунок 8.4.3 г, д).

В соответствии с градациями, используемыми в [2], воды Невской губы и ВЧФЗ в 2006-2008гг. классифицировались как «грязные» и «очень грязные». Основной причиной загрязнения были дноуглубительные работы по реконструкции Петровского фарватера и

Подходного канала. При этом следует отметить, что значительная часть гидротехнических работ проводилась в транзитной зоне Невской губы, что способствовало переносу тонкодисперсных взвешенных осадков течениями на значительные расстояния, рис. 8.4.3 в, д.

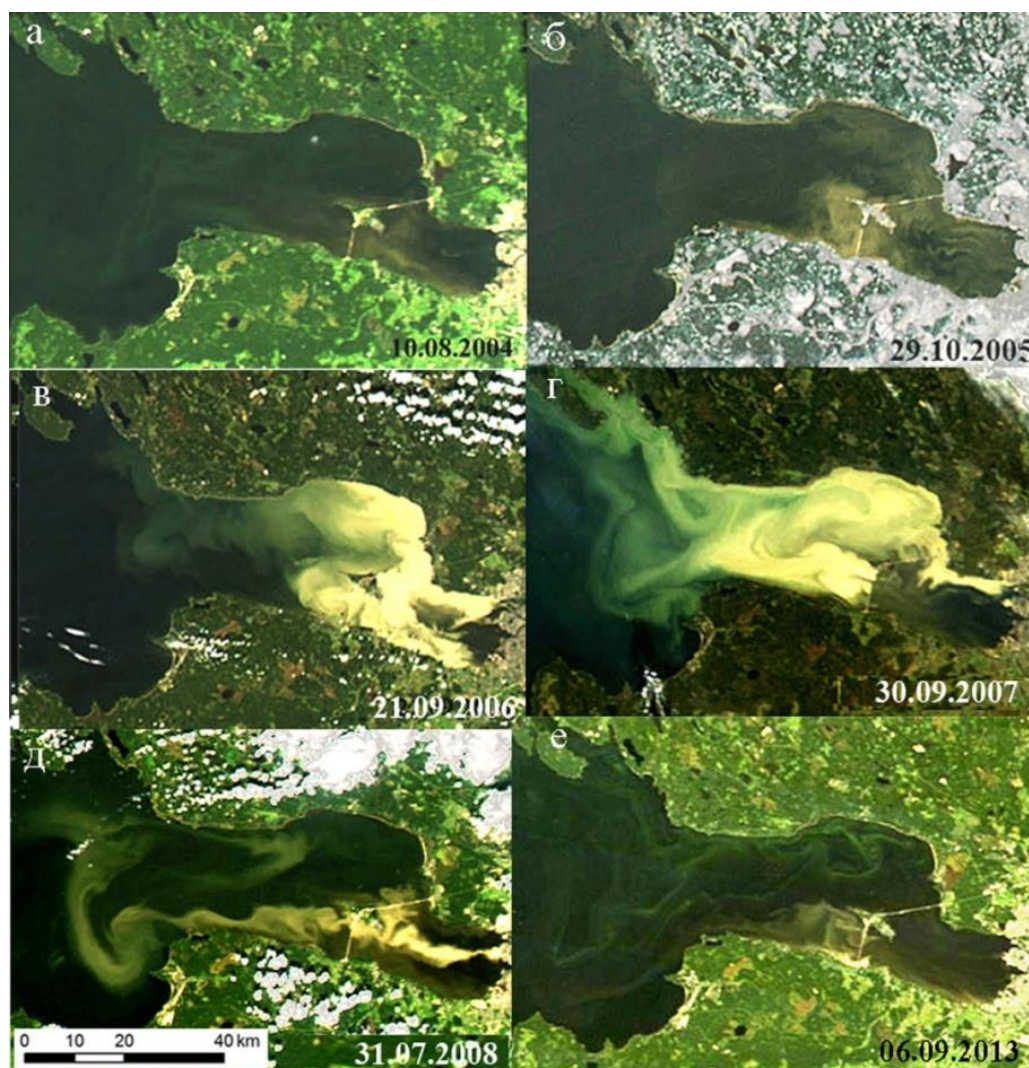


Рисунок 8.4.3 – Распределение оптических неоднородностей в ВЧФЗ по данным MODIS в разные временные периоды, выделенные с учетом антропогенной нагрузки на акваторию:

- а) КС от 10.08.2004г. – период 1, до начала гидротехнических работ;
- б) КС от 29.10.2005г. – начало работ осенью 2005г.;
- в) КС от 21.09.2006г. (период 2) – в Невской губе ведутся интенсивные дреджинговые работы с отвалом грунта в подводные карьеры;
- г) КС от 30.09.2007г. (период 2) – интенсивные работы с отвалом грунта вдоль северного побережья губы, в районе южного створа КЗС ведутся технические работы по завершению его строительства;

д) КС от 21.09.2008г (период 3) – дреджинг ведется в районе строящегося терминала, изымаемый грунт поступает в транзитную зону, в ВЧФЗ наблюдается четко выраженная апвеллинговая ситуация;

е) КС от 06.09.2013г. (период 3) – в Невской губе ведутся инженерные работы по строительству порта Бронка, отмечается повышенная мутность в районе южного створа КЗС, в ВЧФЗ – характерная картина интенсивного развития фитопланктона при наличии стратификации водных масс и возникновении апвеллинговой ситуации

Анализ материалов регулярного спутникового мониторинга показал, что наиболее интенсивное воздействие дреджинга на акваторию отмечалось в 2006-2007 гг. [189, 195, 190] (рисунки 8.4.3, 8.4.4). Только за эти два года объем дноуглубительных работ составил – 20 150 000м³.

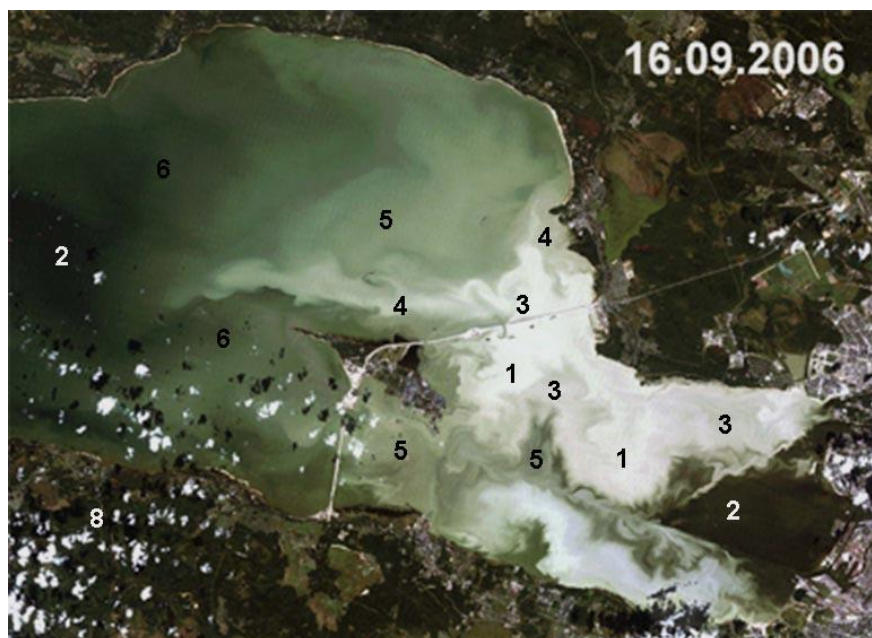


Рисунок 8.4.4 – Изображение LANDSAT-5 за 16.09.2006. В рамках осуществления проекта «Морской фасад СПб» проводятся интенсивные дноуглубительные работы и отвал грунта в Невскую губу: 1 – зоны с максимальным содержанием взвеси (>300 мг/л); 2 – фоновые воды с минимальным (<10 мг/л) содержанием взвеси; 3,4,5,6 – промежуточные значения концентраций (с уменьшением содержания взвеси по мере возрастания номера от 300 до 10 мг/л); 7 – строящийся терминал

Сопоставление значений биомассы дрейссены с тремя, выделенными по результатам спутникового мониторинга, периодами (рисунок 4.2А), и местоположением шлейфов выносов взвеси из Невской Губы, позволяет предположить, что резкое снижение биомассы и отсутствие оседания молоди в 2006 и 2007 гг., приведшее к почти полному

вымиранию поселения под Зеленогорском к концу лета 2007 г. может быть связано, в том числе, и с неблагоприятным воздействием гидротехнических работ.

Негативное воздействие могло быть как за счет сильного и почти постоянного загрязнения водной толщи вдоль северного берега залива неорганической взвесью, так и за счет образовавшихся в районе Зеленогорска донных наносов, выявленных по данным полевых наблюдений в начале лета 2007 г.

Таким образом, использование космических и компьютерных ГИС технологий и современных средств географического позиционирования, позволяет визуализировать пространственное распределение отдельных абиотических факторов, природных комплексов, источников антропогенных воздействий. Спутниковый мониторинг позволяет наглядно (визуально) представить очевидность того, что современное состояние Невской Губы и ВЧФЗ и наблюдаемые изменения живых сообществ, складываются под влиянием комплексных гидротехнических работ, сопровождающихся дреджингом и его последствиями, включая долговременные.

Спутниковые методы позволяют выявить продолжительность, интенсивность и пространственно-временную изменчивость гидрофизических полей, обусловленную воздействием природных и антропогенных факторов; открывают новые возможности в проведении комплексного анализа и *экспресс-интерпретации* космических снимков и гидробиологических данных путем простого сопоставления выявленной вариабельности количественных характеристик и демографического состава поселений гидробионтов с результатами тематического дешифрирования КС. Ежедневная периодичность спутникового мониторинга на основе использования сенсора MODIS позволяет оптимизировать подбор КС высокого и детального разрешения для исследования конкретных ситуаций, анализировать сценарии взаимодействия различных природных и антропогенных факторов, анализировать и корректировать результаты интерполяции и экстраполяции данных традиционных гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений.

Данные современного спутникового мониторинга (2003-2014 гг.) ВЧФЗ и анализ динамики экологического состояния акватории с учетом КС за предшествующие десятилетия, свидетельствуют о том, что масштабы и интенсивность антропогенного загрязнения акватории взвешенными осадками в период осуществления проекта «Морской фасад» были значительными. Техногенное воздействие на исследуемую акваторию превосходило отмечавшееся здесь ранее в период проведения в Невской губе дреджинговых работ, связанных с намывом городских территорий в 70-е и 80-е годы прошлого века [190, 195, 196].

По данным Государственного мониторинга геологической среды Финского залива, проводившегося ФГУНПП «Севморгео», началом цепочки неблагоприятных изменений послужило массовое поступление взвеси в толщу воды, из-за чего ее мутность повысилась с 91 ед. в мае 2006 года до 1000 ед. в октябре, причем взвесь была представлена глинистыми мелкодисперсными частицами с высокой сорбционной способностью. Она впитала в себя грязь, которая годами копилась в Невской губе: тяжелые металлы и нефтепродукты.

Особую опасность для аквальных и прибрежных экосистем представляют интенсивные, длительные воздействия, охватывающие значительные пространственные масштабы, загрязнения взвешенными веществами. Именно такая ситуация сложилась в акватории Невской губы и восточной части Финского залива при реализации проекта «Морской фасад» в течение 2006-2007 гг. Эти годы отличались наиболее интенсивным воздействием дреджинговых работ на акваторию [189, 190, 195, 197].

8.4.3 Спутниковый мониторинг в оценке экологического стояния акватории после завершения проекта «Морской фасад» (2009-2014 гг.)

В акватории Невской губы даже спустя годы после прекращения гидротехнических работ по углублению фарватеров и свалке грунта в подводные отвалы на спутниковых изображениях, полученных в условиях сильного ветрового воздействия и низкого стояния уровня моря, регистрируются последствия проведения дреджинга. Для примера на рисунках 8.4.5А) и 8.4.5Б) представлены результаты тематического дешифрирования КС Landsat-5/TM за 19.08.2010 г. и 20.08.2011 г., в данном случае регистрируемые на снимках зоны повышенной мутности обусловлены взмучиванием вследствие ветро-волнового воздействия неконсолидированного тонкодисперсного слоя донных осадков, образовавшегося в период осуществления проекта «Морской фасад» (2006-2008 гг.)

С 2013 года ведутся инженерные работы в районе строительства многофункционального портового комплекса Бронка. Несмотря на заверения проектировщиков и инвесторов о том, что будут приняты все меры по минимизации негативных воздействий на экосистему ВЧФЗ и, «подтверждаемая» результатами модельных расчетов, выполненных в рамках ОВОС, оценка загрязнения акватории Невской губы и ВЧФЗ взвешенными осадками вследствие проведения запланированных дноуглубительных работ по строительству портов Бронка и Янтарь [3], (рисунок 8.4.6), реальные концентрации и ареалы распространения взвеси существенно отличаются от расчетных. Об этом свидетельствует ряд спутниковых изображений акватории ВЧФЗ, приведенный на рисунке 8.4.7.



А)

Рисунок 8.4.5 – А) Изображения Landsat-5/TM, съемка от 19.08.2010г. – зоны повышенной мутности в Невской губе и за створом КЗС, обусловленные ресуспензией донных осадков в губе под воздействием сильных ветров юго-юго-западных направлений (до 10-12 м/сек).

Низкий уровень моря (-28см БС). В ВЧФЗ наблюдаем апвеллинг и развитие фитопланктона



Б)

Рисунок 8.4.5 – Б) Landsat-5/TM, съемка от 20.08.2011г. – зоны мутности в Невской губе и за створом КЗС, обусловленные ресуспензией донных осадков. Ветер восточных направлений до 8-10 м/сек.

В ВЧФЗ наблюдаем апвеллинг и массовое развитие фитопланктона. Низкое стояние уровня моря (-17 см БС). Вследствие стратификации водных масс в ВЧФЗ, за водопропускными отверстиями КЗС – вихревые структуры

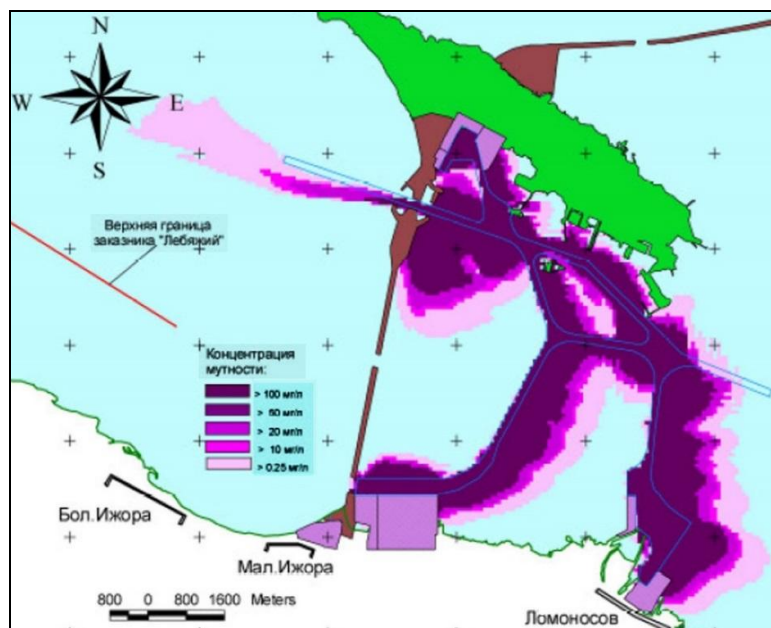


Рисунок 8.4.6 – Модельные расчеты загрязнения акватории взвесью при дреджинге, планируемом при строительстве портов Бронка и Янтарь [3].



Рисунок 8.4.7 – Сценарии распределения мутности в восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов в весенне-летний период 2014 г.

На рисунке 8.4.8 представлен сценарий распределения оптических неоднородностей в ВЧФЗ 24.05.2014г. по данным Landsat-8. В условиях аномально теплой зимы отмечается очень раннее цветение сине-зеленых водорослей, в районе строительства порта Бронка ведутся гидротехнические работы.

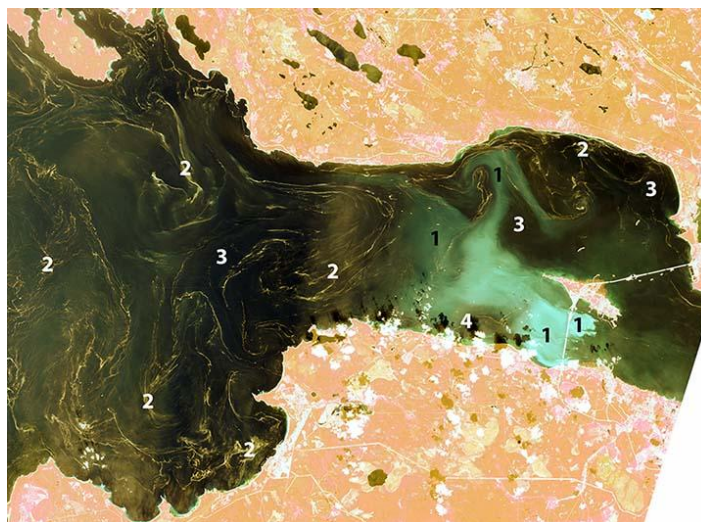


Рисунок 8.4.8 – Синтезированное RGB изображение (каналы 543) ВЧФЗ по данным LANDSAT-8 от 24.05.2014 г: 1 – зоны с разной степенью загрязнения акватории ВВ, 2 – развитие фитопланктона (цветение цианобактерий), 3 – апвеллинговые воды, 4 – тени от облаков

Ведутся инженерные работы по строительству многофункционального портового комплекса Бронка: а) Космический снимок (КС) от 20.04.2014 г., гидротехнические работы не проводятся; б) КС от 17.05.2014г., ведутся г/т работы, отмечается стратификация водных масс и апвеллинг; в) КС от 15.06.2014 г., ведутся г/т работы, сгонная ситуация, ветер СВ направлений; г) КС от 07.07.2014 г., ведутся г/т работы, стратификация, апвеллинг, ветер СЗ направлений; д) КС 11.07.2014 г., ведутся инженерные работы, стратификация вод, ветер СВ направлений; е) КС от 15.06.2014 г., сгонная ситуация, стратификация вод, ветер СВ направлений

Таким образом, использование космических и компьютерных ГИС технологий и современных средств географического позиционирования, позволяет визуализировать пространственное распределение отдельных абиотических факторов, природных комплексов, источников антропогенных воздействий. Спутниковый мониторинг позволяет наглядно (визуально) представить очевидность того, что современное состояние Невской Губы и ВЧФЗ и наблюдаемые изменения живых сообществ, складываются под влиянием комплексных гидротехнических работ, сопровождающихся дреджингом и его последствиями, включая долговременные. Возможности современных космических и компьютерных технологий позволяет осуществлять экологический мониторинг водных объектов и контролировать хозяйственно-экономическую деятельность в акватории, определять параметры качества вод и получать картину их пространственного распределения, исследовать пространственно-временную изменчивость гидрофизических полей.

8.5 Перспективы развития научных исследований в области рационального природопользования

В современных социально-экономических и эколого-экономических условиях, когда воздействие техносферы на биосферу превышает допустимые пределы и имеет место глобальный экологический кризис, особую актуальность получили фундаментальные исследования, направленные на развитие концептуальных и методологических аспектов рационального использования природных ресурсов и сохранения ресурсной базы современной цивилизации.

В Российской Федерации фундаментальной основой Стратегии рационального природопользования являются экологические приоритеты социально-экономического и экологического развития страны.

Приоритеты социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, в том числе и экологические, в натуральных и экономических показателях были установлены в «Прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года». Прогноз был разработан Министерством экономического развития Российской Федерации в 2013 году [205].

Приоритеты экологического развития были определены Экологической Доктрине Российской Федерации, которая была принята распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. [206]. Данные приоритеты, с учетом произошедших изменений, были приняты в «Основах государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» [207].

Долгосрочный прогноз научно-технического развития в области рационального природопользования предполагает выбор стратегических направлений научных исследований, результаты которых позволят определить достойные позиции для нашей страны в международной научной и технологической кооперации.

Научные проблемы рационального природопользования разрабатываются в рамках федеральных, отраслевых и ведомственных целевых программ.

В настоящее время имеются положительные примеры разработки и практической реализации экологически ориентированных целевых научных программ крупных государственных и частных корпораций. В области научного сопровождения работ в системе природопользования поучают приоритет целевые научные программы, финансирование которых осуществляется на принципах государственно-частного партнерства.

В основу данных программ положены результаты фундаментальных и прикладных научных исследований, которые выполняются в Российской академии наук, в национальных и государственных научных центрах, в ведущих университетах, а также сетевых междисциплинарных исследований технологических платформ [208].

Тенденции развития внешних и внутренних политических и социально-экономических процессов обусловили реальную необходимость в современных условиях перехода к новому, действительно инновационному, технологическому укладу экономики Российской Федерации.

Использование природных ресурсов входило в основу экономического развития в последний период существования СССР, а также в период становления новой России. В полной мере это проявилось в первое десятилетие XXI века, когда мировые цены на природные ресурсы, в частности, на сырую нефть, резко возросли. Возникла иллюзия, что экспорт природных ресурсов и импорт наукоемкой продукции позволят обеспечить переход на инновационный уклад экономики. Однако, этого не произошло [209].

Формирование новой экономической стратегии, особенно сейчас, когда изменяются интеграционные приоритеты внешней политики, создаются условия для реализации нового технологического уклада рационального природопользования, как эколого-экономического базиса экологически ориентированной инновационной экономики. За последующие 15 лет, то есть до 2030 года, Российской Федерации необходимо осуществить переход к практической реализации государственной Стратегии рационального природопользования. Российская академия наук в ее новой организационной структуре уже ориентирована на научное сопровождение данной Стратегии.

Природный объект переходит в категорию природного ресурса в системе взаимодействия экономической и экологической институциональных систем. При этом возникают необходимые и достаточные условия для постановки проблемы управления рациональным природопользованием [210].

Необходимые условия управления рациональным природопользованием создаются кризисными процессами в существующей системе природопользования, когда институциональные управляющие воздействия на субъектов экономических отношений не обеспечивают достижения целей обеспечения природными ресурсами, необходимыми для функционирования различных видов и объектов хозяйственной и иной деятельности экономической системы.

Достаточные условия управления рациональным природопользованием создаются в экологической институциональной системе, когда основные положения Стратегии

социально-экономического развития гармонизированы с основными положениями Стратегии экологического развития страны на среднесрочную и отдаленную перспективу. Государственные законы и подзаконные акты обеспечивают эффективное государственное управление социально-экономическим и экологическим развитием, а также правовое регулирование экономических и экологических отношений различных субъектов природопользования по критериям обеспечения экологической безопасности.

В комплексном научном направлении «Экология и природопользование» вторая часть, то есть «природопользование» представляет собой объект изучения естественных и общественных наук.

Особую актуальность в настоящее время (2015–2017 гг.) имеет междисциплинарное научное направление, ориентированное на обобщение результатов фундаментальных и прикладных исследований, которые должны стать научной основой «Общей теории рационального природопользования».

Общая междисциплинарная теория рационального природопользования необходима для раскрытия причинно-следственных связей и разработки сценариев перспективного развития процессов природопользования в среднесрочной перспективе (15 лет), результаты которых будут способствовать:

- гармонизации экологического и социально-экономического развития путем инновационных институциональных преобразований и экологизации экономической системы (сценарий инновационного экологически безопасного развития),
- поддержке существующей ситуации в природно-ресурсном блоке экономической системы страны, независимо от качества окружающей среды (сценарий инертного развития),
- росту объемов добычи (изъятия) природных ресурсов, сокращение структуры и функций экологической институциональной системы, снижение экологических требований, отсутствие многих подзаконных актов, определяющих процедуры экологического контроля и экологического регулирования хозяйственной и иной практической деятельности (сценарий экологически-опасного развития).

Следует отметить, что в стратегических государственных документах [205,206,207] в основном декларируется сценарий инновационного экологически безопасного развития. К положительным аспектам можно отнести то, что в этих документах нашли отражение результаты прошедшей в июне 2012 года Всемирной конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (Рио+20).

Решения этой конференции имели принципиальное значение для перехода экологического сектора мировой экономики на стратегию «зеленой экономики», определяющей новый этап в формировании *системы международной экологической безопасности* [6].

В основу официально принятого на конференции понятия «зеленой экономики» были положены экологические и экономические принципы учета реальной стоимости экосистемных услуг. Традиционные представления о природопользовании, включая рациональное, претерпели качественные концептуальные изменения.

В свете этих представлений Природа уже не рассматривается как всеобщее благо, которое позволяет проводить в экономической системе только стоимостную оценку затрат на изъятие или утрату природных ресурсов и ценных природных объектов [211]. Так, например, прокладка дорог, линий электропередач, трубопроводов и т.п. приводит к фрагментации экосистем, разрушению экологического каркаса территории, изменению экосистемных связей и преобразованию эволюционно сложившихся миграционных путей биологических видов. В результате нарушается биоразнообразие, биологическая продуктивность и пространственно-временное распределение биологической продукции. Изменяются виды и качество экосистемных услуг на территориях «успешного» хозяйственного освоения.

В концепции «зеленой экономики» особое внимание уделяется проблеме возмещения причиненного экологического вреда по месту негативного воздействия в натуральной форме и компенсации экологического ущерба в экономической форме [212].

В системе подготовки принятия решений по обеспечению гарантий экологической безопасности предлагается учитывать экологические риски возникновения угроз экологической безопасности не только «до» или «на» стадии реализации конкретных проектов хозяйственной и иной деятельности, а также учитывать риски вероятных отдаленных негативных последствий [213]. Новая концепция позволит изменить к лучшему существующую практику хозяйствующих субъектов по оценке гарантий экологической безопасности результатов своей деятельности, которые обеспечат воспроизводство или сохранение имевших место объемов и качества экосистемных услуг.

Анализ экологической ситуации и экологическая оценка возможных последствий реализации стратегических планов, программ территориального развития и различных инвестиционных проектов в «зеленой» экономике становятся неременным условием подготовки политических и управленческих решений в области рационального природопользования.

Переход к экономической оценке экологических услуг меняет представление об экономической целесообразности проведения различных видов хозяйственной и иной

деятельности в области природопользования. На мировом экологическом рынке труда востребованной становится профессия эколога-менеджера с профессиональными компетенциями, отвечающими новым требованиям «зеленой» экономики.

Таким образом, концептуальной основой новой «Общей теории рационального природопользования», гармонизирующей экономической и экологической подходы к регулированию экономических и экологических отношений должны стать принципы «зеленой» экономики.

Одним из основных в «Общей теории рационального природопользования», основанной на экономической оценке стоимости и экологической оценке экологической значимости природных ресурсов будет раздел, посвященный разработке и научному сопровождению «Стратегии рационального биоресурсопользования». Термин понятие «биоресурсопользование» предложен работе [214].

Традиционно биологические ресурсы (биоресурсы) считались важнейшим фактором социально-экономического развития России. В экспедиционных исследованиях, проводимых Российской академией наук XVIII- XIX вв., направленных на разведку, изучение и оценку запасов различных природных ресурсов особое внимание уделялось биоресурсам.

Биоресурсы представляют собой живые организмы и их сообщества, продукция и процессы жизнедеятельности которых используются или могут быть использованы в различных актах хозяйственной и иной деятельности. Они обладают уникальным свойством, отличающим их от других видов природных ресурсов, которое проявляется в их способности к самовоспроизводству и самовосстановлению, при условии рационального (неистощительного) биоресурсопользования [215].

Положения концепции воспроизводства биоресурсов обеспечили теоретическую базу прикладных исследований, направленных на создание и практическую реализацию наилучших доступных технологий (НДТ) и наилучших доступных экологических практик (НДЭП) получения полезной биопродукции для системы материального производства и сохранения биоресурсной базы для будущих поколений. Приоритетное развитие получили исследования ориентированные на разработку и практическую реализацию методов и средств разведения растений и животных с целью получения полезной продукции, а также сохранения (восполнения) редких и исчезающих видов растений и животных на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) и в живых коллекциях. Важным результатом данных исследований являются успешно (или неуспешно) проведенные интродукции редких и исчезающих видов растений и животных в природные экосистемы для восстановления нарушенных сообществ [216]. Научные интродукции, в отличие от

латентных интродукций (инвазий чужеродных видов), играют роль корректирующего воздействия в процессе управления рациональным использованием биоресурсов и сохранением биоресурсной базы.

В настоящее время в теории управления биоресурсами приоритет получают интерактивные информационные технологии, в которых активно используется дистанционные аэрокосмические методы, наземные телеметрические системы, оснащенные приборами и оборудованием для экологического мониторинга непосредственно в экосистемах в реальном масштабе времени. Дистанционные телеметрические системы экологического мониторинга обеспечивают поступление в ситуационные центры соответствующего назначения данных, необходимых для анализа и оценки структуры и динамики изменений биоресурсного потенциала территории Российской Федерации в целом, а также по территориям субъектов Российской Федерации, с выделением ООПТ и зон экологического риска. Телеметрические данные дополняются результатами комплексных междисциплинарных экспедиционных исследований на изучаемых территориях, что позволяет синтезировать телеметрические и экспедиционные данные для получения целевой предметной информации. Информационное обеспечение экологических исследований данными о состоянии и пространственно-временной динамике биотических и абиотических факторов среды обитания исследуемых экосистем, регулирующих динамические процессы в популяциях и многовидовых сообществах и их устойчивость к антропогенным воздействиям. Результаты этих работ должны стать основой для планирования прямых и косвенных нагрузок на ресурсные биосистемы в целях обеспечения устойчивого развития биоресурсной базы сохранения природного биоразнообразия [217].

Таким образом, в управлении биологическими ресурсами синтезированные данные представляет собой информационную основу для создания и развития новых методов математического моделирования экологических ситуаций на конкретных территориях с прогнозной оценкой биологической продуктивности, пространственно-временного распределения биологической продукции и биологического разнообразия конкретной экосистемы, с учетом доступных, лимитирующих и опасных факторов среды обитания.

Для обеспечения условий *сохранения самовосстановительного потенциала* развития популяций отдельных биоресурсных видов, сообществ и экосистем теория управления биоресурсами определяет сочетание *экстенсивной и экосистемной стратегий биоресурсопользования*. Это даст возможность привести в соответствие уровни антропогенной нагрузки, связанной с эксплуатацией биоресурсов (заготовки, промыслы конкретной продукции, угнетение в результате негативных воздействий актов

хозяйственной и иной деятельности) с естественной или антропогенной динамикой экосистем, определяющей флуктуации их экологической емкости и восстановлению своих ресурсных компонентов [210].

Для обеспечения расширенного воспроизводства биоресурсов в искусственных условиях и расширения биоресурсной базы Российской Федерации за счет введения в культуру новых видов и сообществ приоритетной является *интенсивная стратегия биоресурсопользования* с использованием биотехнологий.

Интенсивная стратегия биоресурсопользования ориентирована на создание и практическое применение наилучших доступных технологий (НДТ) и наилучших доступных практик (НДП) получения полезной биопродукции для системы материального производства и сохранения биоресурсной базы для будущих поколений. Особую актуальность имеют технологии восстановления биоресурсного потенциала в нарушенных территориях и акваториях с использованием методов биомелиорации воды и почвы, рекультивации растительного покрова и животного населения за счет создания искусственных насаждений, реинтродукции редких видов животных [210].

Большое значение для воспроизводства и сохранения биоресурсной базы страны имеют результаты фундаментальных и прикладных исследований, направленные на поддержание биологического разнообразия экосистем в условиях возрастающей антропогенной нагрузки [210].

Для обеспечения расширенного воспроизводства биоресурсов в искусственных условиях и расширения биоресурсной базы Российской Федерации за счет введения в культуру новых видов и сообществ приоритетной является *интенсивная стратегия биоресурсопользования* с использованием биотехнологий. Создание и практическая реализация инновационных биотехнологий дает возможность получать биопродукцию непосредственно в системе материального производства.

Интенсивная стратегия биоресурсопользования включает также технологии восстановления природной ресурсной базы страны в нарушенных территориях и акваториях с использованием методов биомелиорации воды и почвы, рекультивации растительного покрова и животного населения за счет создания искусственных насаждений, реинтродукции редких видов животных [210].

Для обеспечения условий *сохранения самовосстановительного потенциала* развития популяций отдельных биоресурсных видов, сообществ и экосистем разрабатывается комплексное научное направление, в котором имеет место сочетание *экстенсивной и экосистемной стратегий биоресурсопользования*. Это позволит привести в соответствие уровни антропогенной нагрузки, связанной с эксплуатацией биоресурсов

(заготовки, промыслы конкретной продукции, угнетение в результате негативных воздействий актов хозяйственной и иной деятельности) с естественной или антропогенной динамикой экосистем, определяющей флуктуации их экологической емкости и восстановлению своих ресурсных компонентов [210].

В настоящее время в теории управления биоресурсами приоритетное развитие получают интерактивные информационные технологии, в которых активно используется дистанционные аэрокосмические методы, наземные телеметрические системы, оснащенные приборами и оборудованием для экологического мониторинга непосредственно в экосистемах в реальном масштабе времени. Дистанционные телеметрические системы экологического мониторинга обеспечивают поступление в ситуационные центры соответствующего назначения данных, необходимых для анализа и оценки структуры и динамики изменений биоресурсного потенциала территории Российской Федерации в целом, а также по территориям субъектов Российской Федерации, с выделением ООПТ и зон экологического риска.

Телеметрические данные дополняются результатами комплексных междисциплинарных экспедиционных исследований на изучаемых территориях, что позволяет синтезировать телеметрические и экспедиционные данные для получения целевой предметной информации. Информационное обеспечение экологических исследований данными о состоянии и пространственно-временной динамике биотических и абиотических факторов среды обитания исследуемых экосистем, регулирующих динамические процессы в популяциях и многовидовых сообществах и их устойчивость к антропогенным воздействиям. Результаты этих работ должны стать основой для планирования прямых и косвенных нагрузок на ресурсные биосистемы в целях обеспечения устойчивого развития биоресурсной базы сохранения природного биоразнообразия.

Таким образом, в управлении биологическими ресурсами синтезированные данные представляет собой информационную основу для создания и развития новых методов математического моделирования экологических ситуаций на конкретных территориях с прогнозной оценкой биологической продуктивности, пространственно-временного распределения биологической продукции и биологического разнообразия конкретной экосистемы, с учетом доступных, лимитирующих и опасных факторов среды обитания [210].

8.5.2 Почвенные ресурсы

Почвенный покров земельного фонда России включает 180 типов почв, объединяющих около 600 подтипов и несколько тысяч видов и разновидностей почв. Распределение почв, в процентном отношении по площади, на территории России [218], следующее:

- 47,5 % - различные почвы северных районов (тундровые-глеевые - 7,7%, глееподзолистые и подзолистые – 12,2%, болотно-подзолистые и болотные – 7,0%, мерзлотно-таежные -9,3%, дерново-подзолистые и бурые лесные – 11,3%);
- 9,4% - лесостепные и степные почвы (серые лесные -2,3%, черноземы – 6,03%, каштановые – 1,07%);
- 2,7% - пустынные и полупустынные почвы (бурые почвы – 1,5%, солонцы, солонцовые комплексы, солончаки – 1,2%);
- 33% - горные почвы.

Исторически понятия «почвенные ресурсы» и «земельные ресурсы» были тесно связаны, они близки по смыслу, однако не являются синонимами, так, как различаются по содержанию.

В работе [218] показано, что в современных социально-экономических условиях, когда изменились отношения собственности, актуализировалась проблема экономической оценки стоимости почвенных ресурсов применительно к производству сельхозпродукции, а также применительно к значению почв для устойчивого функционирования и воспроизводства наземных экосистем и сообществ живых организмов, включая жизнь человека. «Многофункциональность почв, разнородность их свойств определяет возможность их использования не только для целей сельского хозяйства. Последнее – лишь одно из возможных направлений почвопользования» [218,с.36]. В разработанной авторами классификации почвы «как ресурс выступают не только в форме «вещественных», но и в виде функциональных ресурсов, поскольку посредством почвы в природе осуществляется регулирование большей части биосферных циклов – воды, воздуха, минеральных веществ, биоты» [218,с.45].

Плодородие выступает как основное ресурсное качество почв. Другие ресурсные качества разделены на две основные группы – вещественные и функциональные почвенные ресурсы, в отдельные группы выделены культурно-просветительские и информационные ресурсы почв.

К вещественным почвенным ресурсным были отнесены:

- почвенный гумус;

- иллювиальные горизонты дифференцированных почв;
- живая фаза почв.

Функциональные ресурсы почв авторы разделяют на функциональные ресурсы прямого и непрямого потребления.

К функциональным ресурсам почв прямого потребления отнесены:

- ресурсы плодородия и биопродуктивности (функции почвы как источника элементов питания и энергии, депо влаги, семян, биологически активных соединений, стимулирующих и ингибирующих биогеохимические преобразования веществ и др.);
- место поселения людей и организмов, размещения производственных и иных объектов (функции среды обитания, жизненного пространства, жилища и убежища, механической опоры);
- ресурс сорбции и преобразования загрязнителей и токсинов (санитарная и буферная функции).

К функциональным ресурсам почв непрямого потребления, обеспечивающие поддержание качества и устойчивости потенциала других биосферных функций отнесены:

- ресурсы поддержания биологического разнообразия (функции пускового механизма некоторых сукцессий, «памяти» ландшафтов, регулирования плотности и продуктивности организмов, фактора биологической эволюции и др.);
- защиты и регулирования состава литосферы (функция защитного экрана планеты, источника веществ для преобразования минералов, пород, полезных ископаемых);
- регулирования состава гидросферы (гидрофизические и коллоидно-химические свойства почв, функции трансформации поверхностных вод в грунтовые, сорбционного барьера);
- регулирования состава атмосферы (процессы, связанные «дыханием» почв, депонирование углерода и азота атмосферы);
- энергетического баланса биосферы (функция депонирования и преобразования солнечной энергии, поглощения и отражения солнечной радиации).

Культурно-просветительские ресурсы почв связаны с научной и просветительской деятельностью, которая имеет значение для формирования экологического сознания в культурной жизни общества.

Информационные ресурсы почв включают данные палепочвоведения и археологического почвоведения, а также данные, полученные с использованием современных информационных технологий.

Следует отметить, что в результате активных антропогенных и природных воздействий почвенный покров России находится в неудовлетворительном, а в ряде районов критическом состоянии. Поэтому по-прежнему сохраняет актуальность фундаментальные и прикладные исследования, направленные на изучение процессов деградации почв России, с целью разработки НДТ и НЭП по восстановлению и поддержанию эколого-экономических показателей почвенных ресурсов.

Из новых проблем управления почвенными ресурсами особую актуальность получила проблема их стоимостной оценки. Известно, что реальная стоимость почвенных ресурсов в России до настоящего времени была значительно занижена. Это приводило к тому, что экономические методы не обеспечивали реальных управляющих воздействий на хозяйствующих субъектов. В работе [218,с.45] отмечалось, что «Восстановление и рекультивация почв – крайне дорогостоящие мероприятия, стоимость которых намного превышает кадастровую», однако в настоящее время кадастровая стоимость имеет тенденцию к резкому возрастанию. Это может привести к тому, что слишком дорогая земля также не будет использоваться в экономической системе.

Данные исследования относятся к практическим приложениям раздела, посвященного фундаментальным основам управления почвенными ресурсами в «Общей теории рационального природопользования».

8.5.3 Лесные ресурсы

К лесному фонду, согласно Лесному кодексу Российской Федерации отнесена совокупность всех лесов, за исключением расположенных на землях министерства обороны и населенных пунктов (поселений), а также не покрытые лесом (лесные и нелесные земли), но отнесенные к лесному фонду. Границы земель лесного фонда и границы земель иных категорий, на которых располагаются, определяются в соответствии с земельным законодательством, лесным законодательством и законодательством о градостроительной деятельности. Леса не к важнейшим биологическим ресурсом относятся. Достаточно общая формулировка понятия лесного фонда привела к неоднозначным оценкам количественных характеристик лесных ресурсов. Центром по экологии и продуктивности лесов РАН в работе [219, с.48] указано, что по состоянию на 2003 год площадь занятая лесными ресурсами составляет 1173,1 млн. га с запасом древесины 81,54 млрд. м³.

В системе материального производства используется древесина и другие продукты жизнедеятельности лесных экосистем. Допустимые объемы вырубki леса по главному пользованию (расчетная лесосека) были установлены (2003 г.) на уровне 550 млн. м3, в том числе в лесах, находящихся в ведении Министерства природных ресурсов 519,4 млн. м3. В работе [15] показано, что статистически подтвержденный объем заготовленной древесины (173,5 млн.м3, в том числе по главному пользованию 126,1 млн.м3) составил только малую часть от допустимого объема. С учетом нелегальных заготовок этот объем будет больше, однако недоиспользование лесных ресурсов имеет место. В подтверждение этого положения авторы проводят сравнение с объемами заготовок древесины в 60-80 годы прошлого века, когда они достигали 350 млн. м3.

Недревесные лесные ресурсы включают: техническое сырье (уникальные природные продукты – канифоль и скипидар); пищевые ресурсы (дикорастущие плоды и ягоды, грибы и орехи); кормовые ресурсы (сенокосы и пастбищные угодья); лекарственные растения (около 200 разрешенных в фармакологии видов лекарственных растений); промысловых животных и птиц; рекреационное использование для различных видов рекреации и туризма.

В настоящее время рекреационное использование лесов имеет тенденции к росту. Этому способствует целый ряд факторов

- объективных: стремление населения к оздоровительному и экологическому туризму, а также обустройство рекреационных зон в коммерческих целях;
- субъективных: сокращение организационной системы охраны леса, персональные недостатки в экологическом сознании населения.

Леса России представляют собой важнейший блок глобальной, национальной и локальной систем экологической безопасности. Леса обеспечивают:

- поддержание биологического разнообразия на экосистемном, видовом и генетическом уровнях, которое обеспечивается стабильной площадью земель покрытых лесами, включая также возрастающие площади ООПТ, которые в настоящее время занимают 7% площади, покрытой лесами;
- защиту и регулирования состава литосферы (функция защитного экрана почвенного слоя планеты);
- регулирование состава гидросферы (способность регулировать поверхностный сток в водоохранных зонах различных видов водных объектов, а также регулировать испарение влаги с земной поверхности);

- регулирования состава атмосферы (способность растительных сообществ задерживать, частично перерабатывать, а также переводить в почвенный слой загрязняющие вещества из атмосферы);

- депонирование углерода и азота из почвы и частично из атмосферы;

- энергетический баланс биосферы (функция поглощения солнечной радиации, преобразования и депонирования солнечной энергии).

Площадь защитных лесов составляет 83,1млн.га.

8.5.4 Институциональные аспекты рационального природопользования

Предметом исследований в институциональной экологической теории являются институциональные процессы регулирования экологических отношений эколого-экономических отношений с целью обеспечения рационального природопользования на конкретной территории.

Объектами исследований являются эколого-экономические методы мотивации выбора, стимулирования экологически обоснованных решений и обоснования экологических ограничений экономической деятельности, а также институты и агенты экологических ИС.

Для наблюдения, оценки состояния и прогноза развития различных институциональных процессов проводится постоянный мониторинг качественных и количественных характеристик институциональных систем.

В составе институциональных эколого-экономических факторов в особую группу можно выделить факторы, обеспечивающие экологическую безопасность процессов природопользования.

Эти факторы обусловлены спецификой эколого-экономических отношений и способностью (или неспособностью) формальных и неформальных экологических институтов официально предоставить и практически обеспечить в процессе природопользования правовые гарантии экологической безопасности [220]:

- природных естественных и антропогенно возмущенных экосистем;

- природно-хозяйственных систем и урбанизированных территорий;

- объектов прошлой, настоящей и планируемой хозяйственной и иной деятельности;

- товаров, работ и услуг, представленных на различных рынках;

- других объектов обеспечения гарантий экологической безопасности.

В настоящее время рациональное природопользование представляет собой одно из важнейших направлений экологической политики России. В условиях изменений

отношений собственности имеет обострение *экологических противоречий*, связанных с трудностями роста новой экономической системы и инертностью общественного сознания, связанного с историческим опытом природопользования.

Последнее заключение можно отнести к экологическим ментальным особенностям населения. Они определяют сложившийся в конкретном обществе *экологический менталитет*. В его основе - исторически сложившиеся принципы, традиции и опыт регулирования отношений природы и общества. Он оказывал существенное воздействие при выборе методов ведения хозяйства, а также обустройства систем жизнеобеспечения городов, урбанизированных территорий и рассредоточенных поселений.

В общественном сознании он присутствовал всегда, однако, только в настоящее время он стал предметом фундаментальных исследований в области социальной экологии и культурологии.

Снятие противоречий, возникающих при различных институциональных подходах к оценке практических действий и их результатов в процессе природопользования на трансграничной территории, декларируется, как актуальная социально-экономическая задача интеграции экологических ИС государств-участников.

Проведение междисциплинарных исследований, ориентированных на координацию деятельности экологических ИС и гармонизацию экологической институциональной среды следует считать важнейшим направлением первого этапа работ (2015 – 2020 гг.).

Главный принцип обеспечения гарантий экологической безопасности в природопользовании заключается в приоритете превентивных мер предупреждения негативных воздействий на окружающую среду и здоровье населения в результате реализации хозяйственной и иной деятельности, а также в повышении точности прогнозов, ориентированных на раннюю диагностику и оперативное предупреждение о возникновении природных угроз экологической безопасности.

С методологической точки зрения для развития экологических ИС необходимо обосновать существенные различия понятий «причиненный экологический вред» и «нанесенный экологический ущерб», которые до настоящего времени многими исследователями рассматриваются как синонимы.

В практической деятельности экологических ИС оценка экологического ущерба по конкретному опасному событию проводится по утвержденным методикам, в которых учитываются, в основном, негативные эффекты поражения экосистем, представленные в различных экспертных заключениях. По новым проектам хозяйственной и иной деятельности используются экономические расчеты ожидаемого экологического ущерба,

экспертные оценки вероятных негативных эффектов, которые выполняются по утвержденным методикам.

Оценка ожидаемого экологического ущерба в денежной форме дает основание для проведения процедуры заключения договоров страхования экологических рисков, то есть, экологического страхования [219]. В результате переговоров страховщика и страхователя определяется страховая сумма, которая возмещается при наступлении оговоренных в тексте договора опасных событий. Эта сумма в денежном выражении представляет собой лимит гражданской ответственности, в пределах которой и в сроки действия договора страховщик произведет выплату страхователю по доказанным фактам экологического ущерба.

В итоге мы имеем:

- реальный причиненный экологический вред, масштабы которого нам не известны, а его последствия могут проявиться в будущем,
- формально оцененный в экономической форме экологический ущерб;
- лимит гражданской ответственности в денежной форме, достигнутый при процедуре экологического страхования экологических рисков в конкретных актах процессов природопользования.

Вполне очевидно, что это разные понятия. Данные противоречия стимулируют проведение самостоятельных исследований по разработке комплексных эколого-экономических методов учета реальной стоимости экосистемных услуг в природопользовании. По результатам данных исследований может быть проведена системная формализация принципов «зеленой экономики», включение которых в институциональную среду государственных экологических ИС будет достаточным условием для перехода к экологически безопасному использованию всех видов природных ресурсов.

8.5.5 Анализ проблемной ситуации природопользования на приграничных территориях

Гармонизация процессов природопользования на приграничных территориях соседствующих государств имеет свою специфику. Очевидно, что на сопредельных трансграничных территориях должны создаваться своеобразные буферные зоны, в которых должны быть гармонизированы действия экологических ИС государств-участников. Гармонизация экологических ИС инициирует процессы экологической интеграции. Главное отличие процессов экологической интеграции заключается в том, что территориальная интеграция природных комплексов для трансграничных территорий, как

правило, в историческом прошлом имела место [211]. Развитие геополитических процессов сопровождалось изменением политических государственных границ, что приводило в различные исторические периоды к фрагментации или к интеграции экосистем.

Для фрагментированных экосистем экологическая интеграция представляет собой единственный метод восстановления экологической целостности территории, при сохранении территориальной юрисдикции государств-участников.

Мотивацией для подготовки к интеграции экологических ИС предполагаемых государств-участников процесса экологической интеграции можно считать наличие следующих действующих факторов:

- кризисная ситуация в окружающей среде из-за геополитической фрагментации экосистем;
- осознание в обществе данной негативной ситуации;
- возбуждение реакции формальных и неформальных экологических ИС приграничных государств на кризисные явления;
- поиск выхода из экологического кризиса путем международной интеграции экологических ИС приграничных государств.

Однако не только кризисные явления порожденные фрагментацией или загрязнением трансграничных экосистем могут инициировать процессы международной экологической интеграции. Солидарная экологическая ответственность и стремление к корпоративным превентивным мерам, направленным на обеспечение гарантий экологической безопасности на трансграничной территории, имеют в настоящее время существенное преимущество в интеграционных процессах.

Можно предположить, что для государств, которые достигли соглашения о гармонизации экологических ИС, процессы экологической интеграции будут проходить значительно эффективнее, чем для государств, имеющих различные экологические ИС.

Забота приграничных государств об улучшении экосистемных процессов на трансграничных территориях совместного ведения также является стимулом экоинтеграционных процессов. Содержательная основа данных процессов будет изначально позитивная.

Эффективным средством совершенствования пространственной организации общества и управления экологической обстановкой является формирование региональных систем ООПТ на основе эколого-экономического подхода [218].

К фундаментальным положениям теории экологической интеграции можно отнести сформулированный им научный подход, «предусматривающий оптимизацию

соотношений природных и хозяйственных территорий, обеспечивающих условия рационального природопользования, приемлемую экологическую обстановку в регионе и сохранение природного и культурного наследия» [219 с.5].

Для развития данных положений особую актуальность приобретает проблема научного обоснования «...ландшафтно-экологической сети (экологического каркаса) на основе его эколого-экономического районирования» [220, с. 149].

Экологическое состояние региональной ландшафтно-экологической сети представляет собой интегральный показатель экологической безопасности на территории всего исследуемого региона.

Экологический каркас — это совокупность экосистем и ландшафтно-экологических сетей, образующих пространственно организованную инфраструктуру, которая имеет характерные показатели биопродуктивности и пространственно-временного распределения биологической продукции и биологического разнообразия [209].

Структуру регионального экологического каркаса составляют ключевые природные территории (КПТ), особоохраняемые природные территории (ООПТ), резервные зоны системы ООПТ, охраняемые речные системы (ОРС), экологические коридоры, экологистические сети и резервные зоны [223,224,225].

ООПТ представляют собой участки суши или водной поверхности, где располагаются природные комплексы и объекты, имеющие особое природоохранное, научное, культурное и рекреационное значение, которые полностью или частично изъяты из хозяйственного использования и для которых установлен особый режим охраны.

В структуру ООПТ входят территории и зоны с различными экологическими функциями:

КПТ – ключевые природные территории, наиболее важные для сохранения естественного видового и экосистемного биологического разнообразия;

ОРС - участки рек с притоками, имеющие особое значение для обеспечения экологически безопасного использования водных и биологических ресурсов водоёмов и сохранения биологического разнообразия. Главные экологические функции ОРС - стабилизация природного гидрологического режима и обеспечение сохранности важнейших путей миграции и распространения видов растений и животных, приуроченных к водотокам и речным долинам;

Экологические коридоры (транзитные территории или области) - ландшафтно-экологические сети, связующее звено между ценными природными территориями, объединяющее их в единые природные комплексы, способные к саморегуляции и

длительному существованию. Транзитные территории обеспечивают экологические связи для сохранения непрерывности природных систем при изменчивой и вариабельной пространственной структуре территории в целом;

Резервные зоны системы ООПТ, которые дают возможность временно резервировать участки, по предварительным сведениям обладающие высокой экологической ценностью. После детального обследования они должны быть отнесены к одной из трёх предыдущих категорий.

Благодаря включению резервных участков, достигается максимально точное оконтуривание ООПТ и оптимальный выбор режима их дальнейшей охраны при экономии сил и средств за счёт сокращения площади детальных обследований.

В границах ООПТ необходимо выполнять согласованный комплекс мер по обеспечению длительного существования ценных природных комплексов, редких и находящихся под угрозой исчезновения видов живых организмов, а также других ценных природных объектов.

В исследованиях с целью «оптимизации соотношений природных и хозяйственных территорий» [223 , с.5] представим соответственно хозяйственные территории в виде природно-хозяйственного каркаса, представляющего собой совокупность природно-хозяйственных систем (ПХС).

Природно-хозяйственный каркас представляет собой организованную инфраструктуру региональных ПХС, которая имеет характерные показатели пространственного размещения природно-хозяйственных объектов на территории, пространственно-временного использования природных ресурсов и уровней антропогенного воздействия на объекты экологического каркаса территории.

В составе ПХС можно выделить урбанизированные территории, ключевые природно-хозяйственные комплексы (КПХК), природно-хозяйственные логистические сети (ПХЛС), территории прошлого (накопленного) экологического ущерба (ТПЭУ) и зоны экологического риска (ЗЭР).

КПХК – это природно-хозяйственные объекты, которые оказывают или могут оказать негативное воздействие на окружающую среду в трансграничном контексте, указанные в Протоколах к международным Конвенциям в экологической сфере [212].

ПЭУ - территории и объекты хозяйственной и иной деятельности, выведенные из хозяйственного оборота.

ПХЛС – представляют собой инфраструктуру природно-хозяйственного каркаса территории, в структуру ПХЛС входят дороги, линии электропередач, трубопроводы, просеки и т.п.

ЗЭР – зоны потенциального или активного воздействия КПК, ПХЛС, ТПЭУ, а также территории полигонов захоронения отходов и несанкционированных свалок.

Следует отметить, что ПХС находятся в системе управления (регулирования) экономических ИС. В экологических ИС разрабатываются и реализуются экологические ограничения деятельности экономических ИС.

Проведенная классификация позволяет представить экологическую интеграцию в виде процесса взаимодействия экономических и экологических ИС.

Для разрешения проблем экологической интеграции и создания системы международной экологической безопасности классификация категорий ООПТ и ПХС имеет принципиальное значение [224].

Впервые проблема обеспечения экологической безопасности на территориях трансграничных субрегионов была обозначена в работах [225,226]. Именно на данных территориях в значительной степени проявляются и активизируются политические, экономические, экологические и другие процессы международного взаимодействия приграничных государств.

В качестве объектов практической деятельности в области международной экологической интеграции больше всего подходят территории трансграничных субрегионов, образованных тремя и большим числом стран.

В теоретическом плане представляет интерес раскрытие проблем, возникающих в процессе функционирования экологических ИС государств-участников экоинтеграционного процесса. В частности, проблемы влияния экологических институтов на комплексное решение территориальных проблем социально-экономического и экологического развития.

Экологическая интеграция государств трансграничного субрегиона включает три основных направления:

- интеграция формальных и неформальных экологических ИС,
- интеграция экологических сетей для трансграничных территорий суши,
- интеграция предметов совместного ведения применительно к трансграничным водным объектам.

Совместная деятельность по обеспечению экологической безопасности на территории трансграничного субрегиона позволит создать благоприятные условия для реализации стратегии устойчивого эколого-экономического развития и международного сотрудничества в экологической сфере.

Можно надеяться, что междисциплинарный подход и комплексное использование эколого-экономических и системно-аналитических методов исследований позволит

разработать стратегию создания международных систем экологической безопасности на примере мод конкретного трансграничного субрегиона.

Для региона Санкт-Петербурга и Ленинградской области в качестве модельного субрегиона предлагается выбрать трансграничный субрегион, включающий приграничные области Российской Федерации, Финляндии и Эстонии.

В основе практической реализации интеграционных процессов на территории данного модельного субрегиона используется практика экологической деятельности:

- Финляндии, основанной на Директивах ЕС и собственном опыте;
- Эстонии, основанной на опыте советского и постсоветского периода, а также на основе современного опыта после вхождения Эстонии в ЕС, основанного на Директивах ЕС в экологической сфере;
- Российской Федерации, которая в настоящее время в значительной степени гармонизируется с европейским опытом.

В состав КППТ предлагается включить систему входящих в его границы ООПТ, а также водные объекты: Финский залив, Ладожское озеро, Онежское озеро, озеро Ильмень, Чудско-Псковский озерный комплекс и Сайменский озерный комплекс.

Средообразующие и структурные функции экологического каркаса модельного субрегиона обеспечивают экологическую стабильность всей территории и отдельных ее частей [224].

Важной задачей исследований представляется подготовка аналитического обзора ретроспективных материалов для реконструкции экологической обстановки в различные исторические периоды развития обследуемой территории. Исторические экореконструкции позволят установить основные этапы процессов эволюции экосистем в модельном субрегионе.

Для каждого этапа исторической экореконструкции необходимо уточнить КППТ, экологические коридоры, экологические сети и другие характеристики ретроспективных экосистем.

Проведение данных исследований даст возможность уточнить общие представления о ретроспективном развитии экологических процессов на исследуемой территории, что позволит целенаправленно планировать проведение перспективных натурных исследований.

В процессе проведения данных исследований на территории предстоит установить специфику структуры и функций экологического каркаса на территории модельного субрегиона, провести анализ состояния экологических сетей, обобщить картосхемы зон

экологического риска, а также уточнить маршруты миграционных путей различных биологических видов.

Выводы

(1) Создание трансграничной системы международной экологической безопасности позволит разработать согласованные действенные меры по эффективному взаимодействию экологических институциональных систем государств, участвующих в экоинтеграционном процессе, для комплексного решения территориальных проблем рационального экологически безопасного природопользования на примере биоресурсопользования.

(2) Геополитическое значение экологической интеграции будет способствовать заинтересованности органов власти государств-участников, хозяйствующих субъектов и общественности в результатах научных исследований направленных на гармонизацию природопользования на основе НДТ и НЭП.

(3) Для практической реализации экоинтеграционных процессов предстоит раскрыть специфику процессов формирования и взаимодействия экологического и природно-хозяйственного каркасов на территории модельного субрегиона. Раскрытие механизмов этих процессов, относящихся к различным институциональным системам, дает возможность обосновать структуру и функции трансграничной системы экологической безопасности.

(4) В результате реализации экоинтеграционных процессов на примере модельного субрегиона может быть разработана и реализована международная программа экологической интеграции России, Финляндии и Эстонии, направленная на создание гармонизированной системы рационального природопользования.

(5) Реализация данной программы позволит провести поэтапную (три пятилетних этапа до 2030 года) реабилитацию экологического каркаса, максимально восстановить утраченные и поддерживать существующие экологические сети (экосистемные связи) на модельной территории. Это позволит восстановить естественные процессы биологической продуктивности, пространственно-временного производства биологической продукции и биологического разнообразия на территории модельного субрегиона.

На основании рассмотренных данных можно утверждать, что учеными-биологами Санкт-Петербурга проводятся ряд серьезных исследований, касающихся влияния человека на природные экосистемы, а также последствий этого воздействия. Накоплена колоссальная база данных по экологии отдельных видов, а также об изменениях в функционировании наземных и водных экосистем на Северо-Западе России. Активно развивается новое научное направление, объединяющее в себе данные по экологии отдельных видов и генетические знания – экологическая генетика, одно из наиболее перспективных и важных в современной биологической науке.

Исследования по экологической генетике проводятся на базе Зоологического института РАН (ЗИН РАН), СПбГУ и во Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР).

Неоценимый вклад в изучение биологического разнообразия региона внесен лабораторией энтомологии и систематики насекомых Зоологического института РАН (ЗИН РАН). Изучение таксономического разнообразия насекомых, как самого многочисленного и доминирующего во всех наземных экосистемах класса животного мира, в настоящее время насчитывающего уже до полутора миллионов видов, относящихся к 30 различным отрядам, имеет особую актуальность.

Благодаря работе специалистов ЗИН РАН получены данные по динамике биологических сообществ на Северо-западе России, среди которых можно выделить по меньшей два типа, противоположным образом реагирующих на изменения климатических факторов: сообщества «NAO-положительных» озер, характеризующиеся общим увеличением уровня биологической продуктивности при повышении NAO, и гумифицированных «NAO-отрицательных». Сообщества водоемов, подвергающиеся антропогенному эвтрофированию, представляют собой, по всей видимости, отдельный третий тип.

Использование космических и компьютерных ГИС технологий и современных средств географического позиционирования, предоставляемые ученым специалистами сектора экологических исследований «НИИКАМ» – филиала ФГУП ЦНИИмаш, позволяет визуализировать пространственное распределение отдельных абиотических факторов, природных комплексов, источников антропогенных воздействий. Спутниковый мониторинг позволяет наглядно представить, что современное состояние Финского залива и наблюдаемые изменения живых сообществ, складываются под влиянием комплексных гидротехнических работ, сопровождающихся дреджингом и его последствиями, включая долговременные. Возможности современных космических и компьютерных технологий позволит и в дальнейшем осуществлять экологический мониторинг водных объектов и

контролировать хозяйственно-экономическую деятельность в акватории, определять параметры качества вод и получать картину их пространственного распределения, исследовать пространственно-временную изменчивость гидрофизических полей.

Как видно из вышеизложенного, исследования ученых Санкт-Петербурга в области изучения влияния человека и его деятельности на природные экосистемы, последствий, связанных с изменением и разрушением этих экосистем, а также развитие экологической генетики биологических инвазий, соответствуют ведущим направлениям Информатики и информационных технологий и Биологических наук (в соответствии с Распоряжением правительства РФ от 3 декабря 2012 г. N 2237-р): IV. Информатика и информационные технологии. 35. *Когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях* (разработка методов анализа геномов и транскриптомов с использованием данных высокопроизводительного секвенирования, разработка методов анализа метагеномных данных, данных о состоянии хроматина, данных белок-нуклеиновых взаимодействий); VI. Биологические науки. 50. *Биология развития и эволюция живых систем* (исследование эволюционных преобразований структуры и функций субклеточных структур; исследование эволюции эукариот на уровне геномов, структурно-функциональных единиц генома, генов, хромосом и хромосомных наборов; определение скоростей морфологических преобразований и особенностей морфогенеза и эволюции эукариот; разработка концепции эволюции регуляторных механизмов индивидуального развития (генных сетей) и эпигенетических регуляций, обосновывающей взаимодействие различных уровней организации живых систем; изучение клеточных и молекулярных механизмов, регулирующих онтогенез и отдельные его стадии, в эволюционном и экологическом аспектах; 51. *Экология организмов и сообществ* (выявление факторов, механизмов и закономерностей функционирования и динамики живых систем (популяций, видов, сообществ, экосистем), разработка теории формирования их адаптивных стратегий на основе комплексных исследований экологии, поведения, физиологии и морфологии, экологической биохимии и генетики; разработки моделей эволюционных и катастрофических изменений отдельных сообществ и биосферы в целом для прогнозирования этих процессов в будущем; разработки моделей коэволюции различных групп органического мира, их биотических взаимоотношений и сопряженного воздействия на биосферу; ...разработка биотехнологических способов защиты технических сооружений и продукции производства от повреждающих организмов);

52. *Биологическое разнообразие* (изучение генофондов и генетического разнообразия природных и экспериментальных популяций); 53. *Общая генетика* (выяснение молекулярно-генетических и популяционных механизмов генотипической и фенотипической изменчивости; создание новой концепции биобезопасности, учитывающей новые типы антропогенных воздействий); 58. *Молекулярная генетика, механизмы реализации генетической информации, биоинженерия* (исследования регуляторных элементов генома (энхансеров, инсуляторов сайленсеров), их взаимодействий с факторами транскрипции, другими регуляторными белками и РНК).

Дальнейшие перспективы исследований:

- Одной из важнейших перспектив исследований является дальнейшее *накопление данных по биоразнообразию* Северо-Западного региона России. Особое внимание предполагается уделить наиболее уязвимым компонентам природных экосистем, а также влиянию деятельности человека на биологию животных, их места обитания и на экосистемы в целом. Учитывая устойчивые традиции проводимых в Зоологическом институте РАН исследований по систематике основных групп животных, связанные с разработкой таксономических, зоогеографических и филогенетических аспектов изучения фауны России и мировой фауны в целом, а также современные тенденции развития мировой науки, можно выделить несколько основных направлений, по которым необходимо вести дальнейшую работу для сохранения лидирующего положения отечественной зоологии:

- Современные представления о биологическом разнообразии в значительной мере основываются на результатах, достигнутых наукой с применением арсенала традиционных (классических) методов. Интенсивно разрабатываемые в последние годы новейшие цитогенетические и молекулярно-генетические методы исследования открывают новые возможности в плане описания так называемого «криптического» разнообразия, в некоторых группах мелких насекомых, например, весьма значительного. Поэтому главным направлением дальнейших работ должна стать интеграция традиционных и инновационных методов исследования, которая позволит создать адекватное представление о разнообразии изучаемых таксонов;

- Выявление и оценка биологического разнообразия должна происходить в рамках комплексных таксономических ревизий соответствующих систематических групп, качественное проведение которых могут обеспечить лишь высококвалифицированные специалисты;

- Проведение работ экологическому мониторингу фауны региона;

- Структурирование биоразнообразия в виде иерархической системы таксонов имеет важное прогностическое значение, поскольку знание основных экологических и эволюционных особенностей видов, заложенное в такой системе, дает возможность предвидеть появление новых вредных видов из числа потенциально вредных. Достоверность сведений о таксономическом разнообразии насекомых на тех или иных территориях и регулярный мониторинг его изменений облегчают своевременное обнаружение опасных инвазивных видов, число которых в последние годы неуклонно растет в связи с глобализацией экономических связей, серьезными климатическими изменениями и антропогенным прессом на экосистемы;

- В результате реализации коинтеграционных процессов на примере модельного субрегиона может быть разработана и реализована международная программа экологической интеграции России, Финляндии и Эстонии, направленная на создание гармонизированной системы рационального природопользования;

- Реализация данной программы позволит провести поэтапную (три пятилетних этапа до 2030 года) реабилитацию экологического каркаса, максимально восстановить утраченные и поддерживать существующие экологические сети (экосистемные связи) на модельной территории. Это позволит восстановить естественные процессы биологической продуктивности, пространственно-временного производства биологической продукции и биологического разнообразия на территории модельного субрегиона.

- *Изучение биологических инвазий*

Актуальность исследований определяется экономическими и социальными потребностями и последствиями инвазий, требующими разработки систем мониторинга, раннего выявления, предупреждения экспансии потенциально опасных чужеродных видов, разработки прогностических моделей протекания инвазий и их последствий (экспансии и интродукции вида в систему-реципиент).

Таким образом, можно выделить два основных направления исследования инвазионных процессов:

а) экологическое направление исследований, отражающее значение инвазии как современного фактора трансформации экосистем-реципиентов.

б) исследование инвазивных видов как предпосылки дальнейшей эволюции и источник материала для исследований микроэволюционных процессов.

Основные усилия планируется сосредоточить на исследовании инвазии животных в Северо-Западном регионе, преимущественно в Ленинградской области и Санкт-

Петербурге с обязательным учетом характеристики инвазивных видов в районах-источниках их распространения. Работа будет проводиться в Восточной части Финского залива, включая наземные и островные местообитания, озеровидные и озерные водоемы и водоемы-охладители Ленинградской атомной электростанции.

Перспективным в этом плане представляется сочетание экологической генетики с эколого-физиологическими исследованиями, экологическим моделированием и молекулярно-генетическими методами, а также сочетание полевых исследований, позволяющих охватить всю совокупность реакций исследуемого вида на различные параметры среды, с лабораторными экспериментами, направленными на изучение адаптаций к отдельным факторам.

Одним из основных направлений дальнейших исследований должно стать обоснование биологических методов регулирования численности исследуемых видов: стимулирования полезных и нейтрализации вредных последствий их расселения в новых для них местах обитания. Для достижения этой цели при исследовании выбранных видов планируется выяснить: 1) географическое происхождение популяций, пути расселения и характер инвазии (протестировать один из описанных ранее гипотетически возможных сценариев инвазии); 2) исследовать генетическую изменчивость инвазивных популяций, сравнить ее с автохтонными популяциями.

Решение этих задач является необходимым шагом для продвижения во всех остальных направлениях изучения биологических инвазий.

В качестве наиболее перспективного направления исследований инвазионных процессов в экосистемах Северо-Запада России можно выделить изучение механизмов адаптаций инвайдеров и интродуцентов к новым условиям среды, в частности - выявление роли разных форм изменчивости и наследственности. При этом исследования должны включать не только анализ «сиюминутных» экологического и эколого-генетического аспектов, но и рассмотрение эволюции таксона с целью выявления предпосылок злостной инвазии или эффективного биологического контроля.

Теоретические исследования в области экологической генетики инвайдеров и агентов биологического контроля должны быть, в конечном счете, ориентированы на достижение практических результатов, так как и в борьбе с инвазиями и во внедрении биометода особенно сильно проявляются негативные аспекты информационной и организационной разобщенности трех категорий работников: (1) академических ученых, проводящих фундаментальные исследования, (2) «прикладников», разрабатывающих конкретные методики биометода и борьбы с инвазиями и (3) «практиков» (от чиновников высокого ранга до непосредственных исполнителей), применяющих эти методики.

В заключение следует отметить, что особое значение в исследованиях по биологическому разнообразию имеет их преемственность, которая обеспечивается существованием сложившихся, эффективно функционирующих и динамично развивающихся научных школ. Поэтому еще одним важным направлением работы должна стать подготовка на базе Санкт-Петербургской школы высококвалифицированных научных кадров, что обеспечит воспроизводство и дальнейшее развитие научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга.

Благодаря существующей разветвленной системе международных научных связей полученные результаты, полностью соответствующие мировым стандартам, будут органично интегрированы в систему аналогичных исследований за рубежом и обеспечат повышение престижа отечественной науки и укрепление статуса Санкт-Петербурга и Зоологического института как крупнейших мировых центров изучения проблем биологического разнообразия.

Список использованной литературы

1. Kimura M. The neutral theory of molecular evolution. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1983. 367 p.
2. Ohno S. Evolution by gene duplication. Berlin-Heidelberg-New-York: Springer-Verlag. 1970. 178 p. (С.Оно. Генетические механизмы прогрессивной эволюции. М. Мир. 1973)
3. Воронцов Н.Н. Синтетическая теория эволюции: ее источники, основные постулаты и нерешенные проблемы. В кн. «Н.Н.Воронцов. Эволюция. Видообразование. Система органического мира». 2004. М. «Наука». С. 33-76. (Впервые опубли. в журн. Всесоюзн. химического общ. 1980. Т. 25. № 3. С. 295-314).
4. Philiptschenko Ju. Variabilitat und Variation. 1927. Berlin. 101 s.
5. Dobzhansky Th. Genetics and the origin of species. New York: Columbia University Press. 1937. 446 p. (Перевод: Добжанский Ф. 2010. Генетика и происхождение видов. Институт компьютерных исследований. Москва. Ижевск. 383 с.).
6. Серебровский А.С. О новом возможном методе борьбы с вредными насекомыми // Зоологич. журнал. 1940. Т. 19. Вып. 4. С. 618-630.
7. Pimentel D, McNair S. etc. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. 2001. Agr Ecosyst Environ 84:1–20 Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 97, 5948–5953.
8. Carlton J.T. Man's role in changing the face of the ocean: Biological invasions and

implications for conservation of nearshore environments. *Conservation Biology*. 1989. 3: 265-273.

9. Rhymer, J. M.; Simberloff, D. "Extinction by hybridization and introgression". *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1996. 27 (27): 83–109.

10. Molofsky J., Stephen R. etc. 2014. Human-aided admixture may fuel ecosystem transformation during biological invasions: theoretical and experimental evidence *Ecology and Evolution* 2014; 4(7):899–910.

11. Prins H. H. T., Gordon I. J/ (eds.) 2014/ *Invasion Biology and Ecological Theory Insights from a Continent in Transformation* Cambridge university press 2014.

12. Millennium Ecosystem Assessment synthesis Report Pre-publication Final Draft Approved by MA Board on March 23, 2005. 219 p.

13. Elton C.S. *The ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London. 1958.

14. Карпевич А.Ф. *Теория и практика акклиматизации водных организмов*. 1975. М., Пищевая промышленность.

15. Lodge D.M. *Biological invasions: lessons for ecology*. 1993. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(4):133-137.

16. Williamson M. *Biological Invasions*. Population and Community Biology series, Vol. 15. 1996. Chapman and Hall, London.

17. Marchetti M.P. Lockwood J.L. etc., *Invasion Ecology*, Wiley Blackwell. 2007.

18. Stepien, C.A., Taylor, C.D., ect. Genetic variability and phylogeographic patterns of a nonindigenous species invasion: A comparison of exotic versus native zebra and quagga mussel populations. *Journal of Evolutionary Biology*, 2002. 15(2): 314-328.

19. Lee, C.E. Evolutionary genetics of invasive species. *Trends in Ecology and Evolution* 2002. 17(3): 386-391.

20. Capps KA, Flecker AS. Invasive aquarium fish transform ecosystem nutrient dynamics. 2013. *Proc R Soc B* 280: 2013-2020.<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.1520>

21. Gorokhova E., Kyle M. Analysis of nucleic acids in *Daphnia*: development of methods and ontogenetic variations in RNA-DNA content *J. Plankton Res.* 2002. 24: 511-522

22. Kay A.D., Ashton I.W., etc. Toward stoichiometric framework for evolutionary biology. 2005. *Oikos* 109: 6-17.

23. Moe S.J., Stelzer R.S., etc. Recent advances in ecological stoichiometry: insights for population and community ecology. *Oikos* 109: 29-39

24. Gorokhova E., Dowling T.E., etc. Wieder L.E et al. Functional and ecological significance of rDNA intergenic spacer variation in a clonal organism under divergent selection for production rate. 2002. *Proc R. Soc. Lond. B* 269: 2373-2379.

25. Алимов А.Ф., Богуцкая Н.Г. (ред.) 2004. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М., Изд. КМК
26. Жадин В.И., Герд С.В. Реки, озера и водохранилища СССР, их фауна и флора. 1961. М. Учпедгиз.
28. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Каспийская фауна в Азовско-Черноморском бассейне. 1960. М-Л., Наука.
29. MacIsaac H.J., Grigorovich I.A., etc. Reassessment of species invasions concepts: the Great Lake basin as a model. *Biological Invasions*, 3: 405-416.
30. Mills E.L., Rosenberg G. etc. A review of biology and ecology of the quagga mussel (*Dreissena bugensis*), a second species of freshwater Dreissenid introduced to North America. 1996. *Am Zool* 36: 271-286.
31. Bij de Vaate, A., Jazdzewski, etc. Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. 2002. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59:1159-1174.
32. Reid D.F., Orlova M.I. Geological and evolutionary underpinnings for the success of Ponto-Caspian species invasion in the Baltic Sea and North American Great Lakes. 2002. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59(7): 1144-1158.
33. Ricciardi A. "Facilitative interactions among aquatic invaders: is an "invasional meltdown" occurring in the Great Lakes?" 2001. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58: 2513-2525.
34. Ricciardi A. Patterns of invasions in the Laurentian Great Lakes in relation to changes in vector activity. 2006. *Diversity & Distributions*, 12: 425-433.
35. McMahon R.F. Evolutionary and physiological adaptations of aquatic invasive animals: r selection versus resistance. . 2002. *Can J Fish Aquat Sci* 59: 1235-1244.
36. May G, Gelembiuk G, etc. Molecular ecology of zebra mussel invasions. 2006. *Molecular Ecology*, 15: 1021-1031.
37. McNeely J.A., Mooney, H.A., etc. A global strategy on invasive alien species. IUCN Gland, Switzerland, and Cambridge, UK, in collaboration with the Global Invasive Species Programme. 2001.
38. Ricciardi A., MacIsaac H.J. Recent mass invasion of the North American Great Lakes by Ponto-Caspian species. *Trends Ecol. Evol.*, 2000. 16: 62-65.
39. Старобогатов Я. И. Систематика и палеонтология. Дрейссена, *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae). В кн. Систематика, экология и практическое значение (п/ред. Я.И. Старобогатова). 1994. М., Наука, СС. 18-46
40. Avise, J.C. *Molecular Markers, Natural History, and Evolution*. 1994. Chapman & Hall, New York (511 pp.).
41. Avise, J.C. *Phylogeography: The History and Formation of Species*. 2000. Harvard

University Press, Cambridge, MA. (447 pp.).

42. Therriault T.W., Docker M.F. etc. Molecular resolution of Dreissenidae (Mollusca: Bivalvia) including the first report of *Mytilopsis leucophaeata* in the Black Sea basin. 2004. Mol. Phyl. Evol., 30: 479-489.

43. Berg D.J., Garton D.W., etc. Changes in genetic structure of North American Bythotrephes populations following invasion from Lake Ladoga, 2002. Russia. Freshwater Biol., 47:275-282 .

44. Cristescu M., Witt J., etc. An invasion history for *Cercopagis pengoi* based on mitochondrial gene sequences. 2001. Limnol. Oceanogr. 46: 224-229.

45. Отчет..., 2004(2511). Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту №43.073.1.1.2511 по теме: «Оценка воздействия чужеродных видов на экосистемы Балтийского бассейна», входящей в тему «Оценка последствий воздействий чужеродных видов на структуру, продуктивность и биоразнообразие экосистем России», СПб, ЗИН РАН-АО АтлантНИРО, АО ИО РАН, 48 с.

46. Отчет....., 2005. Отчет о научно-исследовательской работе. Апробация системы мониторинга чужеродных видов водоемов бассейна Финского залива. СПб, СПбНЦ – Комитет по Природопользованию при Правительстве СПб, 135 с.

47. Отчет, 2006. Отчет о научно-исследовательской работе. Мониторинг биологического загрязнения в Финском заливе. СПб, СПбНЦ – Комитет по Природопользованию при Правительстве СПб, 182 с.

48. Отчет....., 2007. Отчет о научно-исследовательской работе. Мониторинг чужеродных видов. СПб, СПбНЦ – Комитет по Природопользованию при Правительстве СПб, 107с.

49. Отчет, 2008. Отчет о научно-исследовательской работе. Мониторинг чужеродных видов. СПб, СПбНЦ – Комитет по Природопользованию при Правительстве СПб, 143с.

50. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при ведении мониторинга биологического загрязнения на Финском заливе. Санкт-Петербург. Программа Санкт-Петербургского научного центра РАН, изд. СПбНЦ РАН, 2005. 64 с. Составители: Орлова М.И., Анцулевич А.Е. и др.

51. Reeder R. H. Enhancers and ribosomal gene spacers. 1984. Cell 38, 349–351.

52. Gorokhova E., Dowling T.E., etc. Wieder L.E et al. Functional and ecological significance of rDNA intergenic spacer variation in a clonal organism under divergent selection for production rate. 2002. Proc R. Soc. Lond. B 269: 2373-2379.

53. Elser, J., Sterner, R., etc. Biological stoichiometry from genes to ecosystems. 2000. *Ecol. Lett.* 3, 540–550.
54. Weider L.J., Elser J.J., etc. The functional significance of ribosomal (r)DNA variation: Impacts on the Evolutionary Ecology of Organisms *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2005. 36:219–42.
55. Elser JJ, Acharya K, et al. 2003. Growth rate—stoichiometry *Cou.*
56. Walsh M.R., DeLong J.P., etc. A cascade of evolutionary change alters consumer-resource dynamics and ecosystem function. *Proc. R. Soc. B* (2012) 279, 3184–3192.
57. Lee T., Siripatrawan S., etc. Invasion of the clonal clams: *Corbicula* lineages in the New World. 2005. *Amer. Malac. Bull.* 20: 113-122.
58. Okamoto A., Arimoto B. Chromosomes of *Corbicula japonica*, *C. sandai* and *C. (Corbiculina) leana* (Bivalvia: Corbiculidae). 1986. *Venus*, 45: 194-202.
59. Rintelen T., Glaubrecht M. Rapid evolution of sessility in an endemic species flock of the freshwater bivalve *Corbicula* from ancient lakes on Sulawesi, 2006. Indonesia. *Biol. Lett.*, 2: 73–77.
60. Орлова М.И., Комендантов А.Ю. Вселенец *Potamopyrgus abtipodarum* (Gastropoda, Hydrobiidae) – объект для лабораторного содержания? *Зоологический журнал.* 2013, . Т. 92. № 6. С. 627-632.
61. Отчет ... 2011. «Проведение гидробиологических наблюдений и исследований в системах охлаждения КЛНАЭС, блока №4 КЛНАЭС». Договор № 56/10 от 21 декабря 2010 г., СПб "Гидротехпроект" 2011
62. Mills, E.L., J. H. Leach, etc. Exotic species in the Great Lakes: A history of biotic crises and anthropogenic introductions. 1993. *Journal of Great Lakes Research* 19: 1-54.
63. Karartayev A.Y., Padilla D.K., etc. Changes in global economies and trade: the potential spread of exotic freshwater bivalves. *Biological Invasions* 2006 DOI 10.1007/s10530-006-9013-9
64. Орлова М.И. Биологические инвазии моллюсков в континентальные водоемы Голарктики. 2010. Автореф. докт. дисс., СПб
65. Цееб Ю.Ю., Алмазов А.А.М., и др. Закономерности изменения гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов в связи с зарегулированием стока Днепра и их влияние на биологическое и санитарное состояние водохранилищ. 1966. *Гидробиол. журн.*, 2 (3): 3-18
66. Younge C.M., Campbell J.I. On the heteromyarian condition in the Bivalvia with special Reference to *Dreissena polymorpha* and Certain Mytilacea. 1968. *Trans. Royal Soc. Edinburgh*, 68: 4-42.

67. Therriault T.W., Orlova M.I., et al., Invasion dynamics of a freshwater mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in Eastern Europe as revealed by microsatellite analyses. 2005. *Heredity*, 95: p.16–23.
68. Suarez A.V., Tsutsui N.D., The evolutionary consequences of biological invasions.// 2008. *Mol Ecol*, V.17, p.351–360
69. Rejmanek M., Richardson D.M. What attributes make some plant species more invasive? // 1996. *Ecology*, V.77, p.1655–1661.
70. Grotkopp E., Rejmanek M., Rost T.L. Toward a causal explanation of plant invasiveness: Seedling growth and lifehistory strategies of 29 pine (*Pinus*) species. // *Amer Nat*, 2002. V. 159, p. 396–419.
71. Popov S.V., Rogl F., et al. (Eds.) Lithological-Paleogeographic maps. 2004.
72. Cristescu M., Witt J., et al. An invasion history for *Cercopagis pengoi* based on mitochondrial gene sequences. 2001. *Limnol. Oceanogr.* 46: 224-229
73. Ворошилова И.С. Происхождение и популяционная структура периферических поселений *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) северо-восточной границы ареала вида. 2009. Автореф. канд. дисс., Борок.
74. Simberloff D., Von Holle B. Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? // *Biol Inv.* 1999. V.1, p.21–32.
75. Molloy D.P., Karataev A. Y. et al. Natural enemies of Zebra mussels: Predators, Parasites and Ecological Competitors. // *Rev Fish Sci*, 1997. V. 5 (1), p. 27-97.
76. Crooks J.A., Suarez A.V. Hyperconnectivity and the global breakdown of natural barriers to dispersal. // *Connectivity conservation: Maintaining Connections for Nature.* /Eds. Crooks K.R., Sanjayan M.A., Cambridge University Press, Cambridge, 2006, p. 451–478.
77. Allendorf F.W., Lundquist L.L. Introduction: Population biology, evolution, and control of invasive species. // *Cons Biol*, 2003. V.17, p. 24–30.
78. Liebert A.E., Johnson R.N., et al. Triploid females and diploid males: underreported phenomena in *Polistes* wasps? // *Insectes Sociaux*, 2004. V.51, p.205–211.
79. Quinn, T.P., Nielsen, J.L. et al. Origin and Genetic Structure of Chinook Salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, transplanted from California to New Zeland: Allozyme and mtDNA evidence. // *Fish Bull*, 1996. V. 94, p. 506–521.
80. Wares J.P., Hughes A.R., et al. Mechanisms that drive evolutionary change: Insights from species introductions and invasions. // *Species Invasions: Insights Into Ecology, Evolution and Biogeography.* / Sax D.F., Stachowicz J.J., Gaines S.D. (Eds.), Sinauer Associates, Sunderland, Mass., 2005, p. 229–257.

81. Salmenkova E.A. Population Genetic Processes in Introduction of Fish. // Russian Journal of Genetics, 2008. V. 44, p. 758–766.
82. Lavergne S., Molofsky J. Increased genetic variation and evolutionary potential drive the success of an invasive grass. // Proc Nat Acad Sci USA, 2007. V.104, p.3883–3888.
83. Hufbauer R.A. Biological Invasions: Paradox Lost and Paradise Gained. // Current Biology. 2008. V. 18, №6: R246
84. Phillips B.L., Shine R. An invasive species induces rapid adaptive change in a native predator: cane toads and black snakes in Australia. // Proc R Soc B-Biol Sci, 2006. V.273, p.1545–1550.
85. Baldwin B.S., Mayer M.S. et al. Comparative growth and feeding in zebra and quagga mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*): implications for North American lakes. // Can J Fish Aquat Sci, 2002. V. 59, p. 680-694.
86. Stace C.E. New Flora of the British Isles. 1991. Cambridge: Cambridge University Press.
87. Ellstrand N.C., Schierenbeck K.A. Hybridization as a stimulus for the evolution of invasiveness in plants? // Proc Nat Acad Sci USA, 2000. V. 97, p.7043–7050.
88. Leonard G.H., Bertness M.D., et al. Crab predation, waterborne cues, and inducible defenses in the blue mussel, *Mytilus edulis*. // Ecology, 1999. V.80, p.1–14.
89. McDermott J.J. A breeding population of the western Pacific crab *Hemigrapsus sanguineus* (Crustacea, Decapoda, Grapsidae) established on the Atlantic coast of North America. // Biol Bull, 1991. V.181, p.195–198.
90. Freeman A.S., Byers J.E. Divergent induced responses to an invasive predator in marine mussel populations. // Science, 2006. V. 313, p. 831–833.
91. Richardson D.M., Pysek P. et al. Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. // Div Distr, 2000. V.6, p.93–107.
92. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. 1994. Киев: Наукова думка.
93. Adams M.J., Pearl C.A. et al. Indirect facilitation of an anuran invasion by non-native fishes. // Ecol Lett, 2003. V.6 p. 343–351.
94. Levin D.A. Ancient dispersals, propagule pressure, and species selection in flowering plants. // Systematic Botany, . 2006. V. 31, p.443–448.
95. Grosholz E.D. Recent biological invasion may hasten invasional meltdown by accelerating historical introductions. // Proc Nat Acad Sci USA, 2005. V.102, p.1088–1091.
96. O’Dowd D.J., Green P.T. et al. Invasional meltdown on an oceanic island. // Ecol Lett, 2003. V.6, p.812–817.

97. Brooks M.L., D'Antonio C.M. et al. Effects of invasive alien plants on fire regimes. // *Bioscience*, 2004. V. 54, p. 677–688.
98. Bij de Vaate A., Pavluk T. I. Practicability of the Index of Trophic Completeness for running waters. 2004. *Hydrobiologia*, 519: 49–60.
99. Arnott, D.L., Vanni, M.J. Nitrogen and phosphorus recycling by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the western basin of Lake Erie. *Can J Fish Aquat Sci.*, 1996. 56: 646–659.
100. Vanderploeg H.A., T.F. Nalepa et al. Dispersal and emerging ecological impacts of Ponto-Caspian species in the Laurentian Great Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2002. 59: 1209-1228.
101. Ehler L E. Invasion Biology and Biological Control [Текст] / L. E. Ehler // *Biological Control*. 1998. V. 13. № 2. P. 127-133.
102. Fagan W.F. Invasion theory and biological control [Текст] / W.F. Fagan, M.A. Lewis, et al. // *Ecology Letters*. 2002. V. 5. № 1. P. 148-157.
103. Louda S.M. Nontarget effects—the achilles' heel of biological control? [Текст] / S.M. Louda, R.W. Pemberton, et al. // *Retrospective Analyses to Reduce Risk Associated with Biocontrol Introductions. Annual Review of Entomology*. – 2003. – V. 48. – № 1. – P. 365-396.
104. Зайцев В.Ф. Биометод и биоразнообразие: два взгляда на проблему инвазий [Текст] / В.Ф. Зайцев, С.Я. Резник // *Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах/ под ред. А.Ф. Алимов, Н.Г. Богущая* – М.: КМК, 2004. С. 44-53.104.
105. Резник, С. Я. Интродукция амброзиевого листоеда *Zygotoma suturalis* (Coleoptera, Chrysomelidae) как модель инвазионного процесса [Текст] / С.Я. Резник // *Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах/ под ред. А.Ф. Алимов, Н. Г. Богущая* – М.: КМК, 2004. С. 340-346.
106. Roy H. From biological control to invasion: the ladybird *Harmonia axyridis* as a model species [Текст] / H. Roy, E. Wajnberg // *BioControl*. 2008. V. 53. – P. 1-4.
107. McNeely J.A. As the world gets smaller, the chances of invasion grow [Текст] / J. A. McNeely // *Euphytica*. 2006. V. 148. № 1-2. P. 5-15.
108. Westphal M.I. The link between international trade and the global distribution of invasive alien species [Текст] / M.I. Westphal, M. Browne, K. MacKinnon, I. Noble // *Biological Invasions*. 2008. V. 10. № 4. P. 391-398.
109. Richardson D.M. Fifty years of invasion ecology—the legacy of Charles Elton [Текст] / D. M. Richardson, P. Pyšek // *Diversity and Distributions*. 2008. V. 14. № 2. P. 161-168.

110. Simberloff D. Biological invasions: What's worth fighting and what can be won? [Текст] / D. Simberloff // *Ecological Engineering*. 2014. V. 65. P. 112-121.
111. Ижевский С.С. Итоги интродукции в СССР энтомофагов вредных растительноядных насекомых [Текст] / С.С. Ижевский // *Энтомологическое обозрение*. 1988. Т. 67. № 3. С. 449-456.
112. Smith S.M. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes and potential of their use [Текст] / S.M. Smith // *Ann. Rev. Entomol.* 1996. V. 41. P. 375-406.
113. Howarth F.G. Environmental impact of classical biological control [Текст] / F.G. Howarth // *Ann. Rev. Entomol.* 1991. V. 36. P. 485-509.
114. Handley L.J.L. Ecological genetics of invasive alien species [Текст] / L.J.L. Handley, A. Estoup, et al. // *BioControl*. 2011. V. 56. № 4. P. 409-428.
115. Gilchrist G.W. All stressed out and nowhere to go: does evolvability limit adaptation in invasive species? [Текст] / G. W. Gilchrist, C. E. Lee // *Genetica*. 2007. V. 129. № 2. – P. 127-132.
116. Boman S. Quantitative genetic approach for assessing invasiveness: geographic and genetic variation in life-history traits [Текст] / S. Boman, A. Grapputo, et al. // *Biological Invasions*. 2008. V. 10. № 7. P. 1135-1145.
117. Facon B. High genetic variance in life-history strategies within invasive populations by way of multiple introductions [Текст] / B. Facon, J.P. Pointier et al. // *Current Biol.* 2008. V. 18. P. 363-367.
118. Hulme P.E. Phenotypic plasticity and plant invasions: is it all Jack? [Текст] / P. E. Hulme // *Functional Ecology*. 2008. V. 22. № 1. P. 3-7.
119. Suarez A.V. The evolutionary consequences of biological invasions [Текст] / A.V. Suarez, N.D. Tsutsui // *Molecular Ecology*. 2008. V. 17. № 1. P. 351-360.
120. Ward S.M. Ecological genetics of plant invasion: what do we know? [Текст] / S.M. Ward, J.F. Gaskin et al. // *Invasive Plant Science and Management*. 2008. V. 1. № 1. P. 98-109.
121. Whitney K.D. Rapid evolution in introduced species, 'invasive traits' and recipient communities: challenges for predicting invasive potential [Текст] / K.D. Whitney, C.A. Gabler // *Diversity and Distributions*. 2008. V. 14. № 4. P. 569-580.
122. Stapley J. Adaptation genomics: the next generation [Текст] / J. Stapley, J. Reger et al. // *Trends in ecology & evolution*. 2010. V. 25. № 12. P. 705-712.
123. Guillemaud T. Biological invasions in agricultural settings: Insights from evolutionary biology and population genetics [Текст] / T. Guillemaud, M. Ciosi et al. // *Comptes rendus biologiques*. 2011. V. 334. № 3. P. 237-246.

124. Franks S.J. The genetic consequences of a demographic bottleneck in an introduced biological control insect [Текст] / S.J. Franks, P.D. Pratt et al // Conservation genetics. – 2011. V. 12. № 1. P. 201-211.

125. Wang S. Local adaptation of an introduced transgenic insect fungal pathogen due to new beneficial mutations [Текст] / S. Wang, T.R. O'Brien, et al // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2011. V. 108. № 51. P. 20449-20454.

126. Urbanski J. Rapid adaptive evolution of photoperiodic response during invasion and range expansion across a climatic gradient [Текст] / J. Urbanski, M. Mogi et al // Amer. Natur. 2012. V. 179. P. 490–500.

127. Piironen S. Stress for invasion success? Temperature stress of preceding generations modifies the response to insecticide stress in an invasive pest insect [Текст] / S. Piironen, A. Lyytinen, L. Lindström // Evolutionary applications. 2013. V. 6. № 2. P. 313-323.

128. Fenesi A. Can transgenerational plasticity contribute to the invasion success of annual plant species? [Текст] / A. Fenesi, A.R. Dyer, J. et al // Oecologia. 2014. T. 176. № 1. P. 1-12.

129. Forsman A. Effects of genotypic and phenotypic variation on establishment are important for conservation, invasion, and infection biology [Текст] / A. Forsman // Proc. Nat. Acad. Sci. 2014. V. 111. P. 302-307.

130. Tanaka K. Rapid evolution of an introduced insect *Ophraella communa* LeSage in new environments: temporal changes and geographical differences in photoperiodic response [Текст] / K. Tanaka, K. Murata, et al // Entomol. Sci. 2014. DOI: 10.1111/ens.12087.

131. Алимов А.Ф., Панов В.Е., и др. Охрана водной системы: Ладожское озеро – река Нева – Невская губа – восточная часть Финского залива от биологического загрязнения // Экологическая безопасность Санкт-Петербурга. С-Петербург, 2002. С. 16 – 24.

132. Иоффе Ц.И., Максимова Л.П. Биология некоторых ракообразных, перспективных для акклиматизации в водохранилищах//Изв. ГОСНИОРХ, 1968. Т.67. С.81-104.

133. Панов В.Е. Байкальская эндемичная амфипода *Gmelinoides fasciatus* в Ладожском озере // ДАН России. 1994. Т.36(2) С.279-282.

134. Курашов Е.А., Барков Д.В. и др. Роль Байкальского вселенца *Gmelinoides fasciatus* (Stebb.) в формировании литоральных биоценозов острова Валаам (Ладожское озеро)// Биология внутренних вод, 2006. №1, с. 74-84.

135. Алексеев Р.В., Абрамсон Н.И. и др. 2009. Вселение видов-двойников в экосистему Балтийского моря// Докл.АН, Т.429, №5, с.494-497.

136. Максимов А.А. Арктическое колебание и изменения в экосистеме северного озера [Текст] / А.А. Максимов, Н. А. Березина и др. // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Материалы XXVIII Международной конференции 5-8 октября 2009 г. г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009 - С. 343-348.

137. Максимов А.А. Многолетние климатически обусловленные изменения продуктивности экосистемы северного озера [Текст] / А.А. Максимов, Н.А. Березина, и др. // Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов. СПб.: Наука, 2012 С. 138-144.

138. Экосистема Сямозера (биологический режим, использование) [Текст] / - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002.

139. Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования [Текст] / - СПб.: Издательство "Лема", 2008.

140. Stenseth N.C. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and beyond [Text] / N. C. Stenseth [и др.] // Proc. R. Soc. London B. 2003. V. 270. P. 2087-2090.

141. Stenseth N.C. Ecological Effects of Climate Fluctuations [Text] / N. C. Stenseth [и др.] // Science. 2002. V. 297. P. 1292-1296.

142. Forchhammer M. C. Using large-scale climate indices in climate change ecology studies [Text] / M. C. Forchhammer, E. Post // Popul. Ecol. 2004. V. 46. P. 1-12.

143. Stenseth N.C. Weather packages: finding the right scale and composition of climate in ecology [Text] / N. C. Stenseth, A. Myrsetrud // Journal of Animal Ecology. 2005. V. 74. P. 1195-1198.

144. Hurrell J.W. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation [Text] / J. W. Hurrell // Science. 1995. V. 269. P. 676-679.

145. Биологическая продуктивность северных озер. 1. Озера Кривое и Круглое [Текст] / Под ред. Г. Г. Винберга. Л.: Наука, 1975.

146. Blenckner T.A conceptual model of climate-related effects on lake ecosystems [Text] / T. Blenckner // Hydrobiologia. 2005. V. 533. P. 1-14.

147. Smith B. Climate-related Change in Terrestrial and Freshwater Ecosystems [Text] / B. Smith [и др.] H.-J. Bolle, M. Menenti, I. Rasool. // Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2008. P. 221-308.

148. Straile D. The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation [Text] / D. Straile, D. M. Livingstone, et al. // The North

Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact. Geophysical Monograph 134: American Geophysical Union, 2003. P. 263-279.

149. Straile D. Complex effects of winter warming on the physicochemical characteristics of a deep lake [Text] / D. Straile, K. Jöhnk, H. Rossknecht // *Limnol. Oceanogr.* 2003. V. 48(4). P. 1432-1438.

150. Salmaso N. Vertical mixing as a determinant of trophic status in deep lakes: a case study from two lakes south of the Alps (Lake Garda and Lake Iseo) [Text] / N. Salmaso [и др.] // *J. Limnol.* - 2003. - V. 62(Suppl. 1). - P. 33-41.

151. Gerten D. Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation [Text] / D. Gerten, R. Adrian // *Limnol. Oceanogr.* 2000. V. 45(5). P. 1058-1066.

152. Сабылина А. В. Абиотические факторы среды, первичная продукция и деструкция органического вещества в водоемах Карелии [Текст] / А.В. Сабылина, М.И. Басов. // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, Институт водных проблем Севера, 2003. С. 72-91.

153. Сабылина А. В. Абиотические факторы среды, первичная продукция и деструкция органического вещества в водоемах Карелии [Текст] / А.В. Сабылина, М.И. Басов. // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, Институт водных проблем Севера, 2003. С. 72-91.

154. Nõges P. Long -term changes in the ecosystem of Lake Võrtsjärv and their causes [Text] / P. Nõges, A. Järvalt. // *Lake Võrtsjärv*. Tallinn: Estonian Encyclopedia Publishers, 2004. P. 347-355.

155. Nõges P. Reflection of the changes of the North Atlantic Oscillation Index and the Gulf Stream Position Index in the hydrology and phytoplankton of Võrtsjärv, a large, shallow lake in Estonia [Text] / T. Nõges // *Boreal Environmental Research*. 2004. V. 9. P. 401-407.

156. Blenckner T. North Atlantic Oscillation signatures in aquatic and terrestrial ecosystems - a meta-analysis [Text] / T. Blenckner, H. Hillebrand // *Global Change Biology*. 2002. V. 8. P. 203-212.

157. Straile D. The North Atlantic Oscillation and plankton dynamics in two European lakes -- two variations on a general theme [Text] / D. Straile, R. Adrian // *Global Change Biology*. 2000. V. 6. P. 663-670.

158. Weyhenmeyer G.A. Response of phytoplankton in European lakes to a change in the North Atlantic Oscillation [Text] / G. A. Weyhenmeyer [и др.] // Verh. Internat. Verein. Limnol. 2002. V. 28. P. 1436-1439.

159. Tierney G.L. Soil freezing alters fine root dynamics in a northern hardwood forest [Text] / G. L. Tierney [и др.] // Biogeochemistry. - 2001. - V. 56. - P. 175-190.

160. Fitzhugh R.D. Effects of soil freezing disturbance on soil solution nitrogen, phosphorus, and carbon chemistry in a northern hardwood ecosystem [Text] / R. D. Fitzhugh [и др.] // Biogeochemistry. - 2001. - V. 56. - P. 215-238.

161. Groffman P.M. Effects of mild winter freezing on soil nitrogen and carbon dynamics in a northern hardwood forest [Text] / P.M. Groffman [и др.] // Biogeochemistry. 2001. V. 56. P. 191-213.

162. George D.G. The influence of the North Atlantic Oscillation on the winter characteristics of Windermere (UK) and Pääjärvi (Finland) [Text] / D. G. George, M. Järvinen, L. Arvola // Boreal Environmental Research. 2004. V. 9. P. 389-399.

163. Aanes R. The Arctic Oscillation predicts effects of climate change in two trophic levels in a high-arctic ecosystem [Text] / R. Aanes [и др.] // Ecology Letters. 2002. V. 5. P. 445-453.

164. Einem J.V. Effects of fetch and dissolved organic carbon on epilimnion depth and light climate in small forest lakes in southern Sweden [Text] / J.V. Einem, W.Granéli // Limnol. Oceanogr. 2010. V. 55(2). P. 920-930.

165. Markensten H. Climate effects on early phytoplankton biomass over three decades modified by the morphometry in connected lake basins [Text] / H. Markensten // Hydrobiologia. 2006. V. 559. P. 319-329.

166. Eriksson-Wiklund A.-K. Population decline of amphipod *Monoporeia affinis* in Northern Europe: consequence of food shortage and competition? [Text] / A.-K. Eriksson-Wiklund, B. Sundelin, R. Rosa // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2008. V. 367. P. 81-90.

167. Eriksson-Wiklund A.-K. Effects of warming and shifts of pelagic food web structure on benthic productivity in a coastal marine system [Text] / A. K. Eriksson-Wiklund, K. Dahlgren, et al // Marine Ecol Progr Ser. 2009. V. 396. P. 13-25.

168. Sandberg J. Pelagic food web structure and carbon budget in the northern Baltic Sea: potential importance of terrigenous carbon [Text] / J. Sandberg, A. Andersson, et al // Mar Ecol Prog Ser. 2004. V. 268. P. 3-29.

169. Ульянова Д.С. Многолетние изменения гидрохимического режима [Текст] / Д.С. Ульянова, Л.И. Суворова. // Многолетние изменения биологических сообществ

мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования. СПб.: Издательство "Лема", 2008. С. 20-34.

170. Halpert M.S. Climate Assessment for 1996 [Text] / M. S. Halpert, G. D. Bell //

171. Максимов А.А. Причины возникновения придонной гипоксии в восточной части Финского залива Балтийского моря [Текст] / А.А. Максимов // Океанология. 2006. Т. 46. №2. С. 204-210.

172. Максимов А.А. Влияние климатических факторов на динамику макрозообентоса [Текст] / А.А. Максимов. // Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. С. 346-355.

173. Голубков С.М. Функциональный сдвиг в экосистеме восточной части Финского залива под влиянием естественных и антропогенных факторов [Текст] / С.М. Голубков, А.А. Максимов и др. // Доклады академии наук. 2010. Т. 432. № 3. С. 423-425.

174. Järvet A. Hydrology of Lake Võrtsjärv [Text] / A. Järvet. // Lake Võrtsjärv. - Tallinn: Estonian Encyclopedia Publishers, 2004. P. 105-139.

175. Blenckner T. Large-scale climatic signatures in lakes across Europe: a meta-analysis [Text] / T. Blenckner [и др.] // Global Change Biology. 2007. V. 13. P. 1314-1326.

176. George D.G. The influence of the North Atlantic Oscillation on the physical, chemical and biological characteristics of four lakes in the English Lake District [Text] / D.G. George, S. C. Maberly, D. P. Hewitt // Freshwater Biology. 2004. V. 49. P. 760-774.

177. Синев С.Ю. Санкт-Петербургская энтомотаксономическая школа: прошлое, настоящее и будущее [Текст] / XIV съезд Русского энтомологического общества. Россия, Санкт-Петербург, 27 августа – 1 сентября 2012 г. Материалы съезда. СПб., 2012. 499 с.; 21 см. Библиогр.: нет. – ISBN 978-5-98092-036-4.

178. Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России [Текст] / Под ред. С.Ю. Синева. – СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 424 с.; 30 см. – Библиогр.: с. 350. – ISBN 978-5-87317-457-7.

179. Кривохатский, В.А. Муравьиные львы (Neuroptera: Myrmeleontidae) России [Текст]. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 334 с.; 24 см. Библиогр.: с. 301-332. ISBN 978-5-87317-747-9.

180. Барышникова С.В. Кривоусые крохотки-моли (Lepidoptera, Bucculatricidae) фауны России и сопредельных территорий [Текст]. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 160 с.; 24 см. – Библиогр.: с. 148-156. ISBN 978-5-87317-937-4.

181. Астафурова Ю.В. Пчелы подсемейств Rophitinae и Nomiinae (Hymenoptera, Halictidae) России и сопредельных территорий [Текст]. – СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 383 с.; 24 см. Библиогр.: с. 330-350. ISBN 978-5-87317-981-7.
182. Аннотированный каталог насекомых Дальнего Востока России. Т. 1. Перепончатокрылые [Текст] / Под ред. А.С. Лелея. Владивосток: Дальнаука, 2012. 635 с.; 24 см. Библиогр.: с. 474-527. ISBN 978-5-8044-1295-2.
183. Mironov V. The Eupithecia of China: a revision [Текст] / V. Mironov, A. Galsworthy. Leiden; Boston: Brill, 2014. 491 p.; 24 см. Библиогр.: с. 473-482. ISBN 978-90-04-25451-0.
184. Gnezdilov V.M. The western palaearctic Issidae (Hemiptera, Fulgoroidea): an illustrated checklist and key to genera and subgenera [Текст] / V.M. Gnezdilov, W.E. Holzinger, M.R. Wilson // Proceedings of the Zoological Institute RAS. 2014. Vol. 318, suppl. 1. P. 1-118. Библиогр.: с. 101-111. ISBN 978-5-98092-046-3.
185. Синев С.Ю. Каталог серых молей (Lepidoptera: Blastobasidae) мировой фауны [Текст]. СПб.: ЗИН РАН, 2014. 108 с.; 20 см. Библиогр.: с. 83-96. ISBN 978-5-98092-047-0.
186. Синев С.Ю. О соотношении классических и новейших методов исследования в систематике насекомых [Текст] / С.Ю. Синев // Энтомологическое обозрение. 2011. Т. 90, вып. 4. С. 821-832. Библиогр.: с. 830. ISSN 0367-1445.
187. Миндели Л.Э. Основные направления реализации инновационного потенциала научных учреждений РАН [Электронный ресурс]: // Инновации. 2013. №11. С. 33-39. URL: <http://www.issras.ru/papers/2013.php> (дата обращения: 28.11.2014).
188. Бычкова И.А., Викторов С.В. и др. Использование материалов дистанционного зондирования при изучении морских побережий и акваторий. В книге: Аэрокосмические методы геологических исследований. Санкт-Петербург. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2000. С. 204-255.
189. Сухачева Л.Л. Актуальность проведения спутникового экологического мониторинга Невской губы и восточной части Финского залива в условиях возрастания антропогенной нагрузки на акваторию // Сборник материалов I научной конференции СПбГУ, посвященной «Году Финского залива – 2014», 16 февраля 2012 г. Санкт-Петербург. 2012. С. 247-252.
190. Сухачева. Л.Л. Экологические и другие аспекты дреджинга при реализации крупных инженерных проектов в восточной части Финского залива – обобщение данных многолетних аэрокосмических наблюдений // Ученые записки РГРМУ, №35. 2014. С. 124 - 132.

191. Orlova M. I., Telesh I., etc. Effects of non-indigenous species on diversity and community functioning in the eastern Gulf of Finland (Baltic Sea) // *Helgoland Marine Research*. 2006. 60: 98 – 105
192. Orlova M.I., Panov V.E. Establishment of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* in the Neva Estuary (Gulf of Finland, Baltic Sea): distribution, population structure and possible impact on local unionid bivalves. *Developments in Hydrobiology*, 2004. 176: 207-217.
193. Orlova M.I. Zebra and Quagga mussels in inland waters of European Russia and adjacent countries. In Claudi, Mackie (eds.) *Monitoring and control*. 2010.
194. Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л. Наука. 1981.
195. Сухачева Л.Л. Спутниковый мониторинг в оценке техногенных воздействий крупных проектов XXI века на экосистему Невской губы и восточной части Финского залива // Сборник материалов XXIII Международного экологического форума «День Балтийского моря», Санкт-Петербург, 21-23 марта 2012. ООО «Цвинтпринт». 2012. С. 98-101.
196. Бычкова И.А., Викторов С.В., и др. Использование материалов дистанционного зондирования при изучении морских побережий и акваторий. В книге: *Аэрокосмические методы геологических исследований*. Санкт-Петербург. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2000. С. 204-255.
197. Сухачева Л.Л., Орлова М.И. О применении результатов спутниковых наблюдений восточной части Финского залива для оценки воздействия естественных и антропогенных факторов на состояние акватории и биотических компонентов экосистемы // *Региональная экология № 1–2 (35)*. Специальный выпуск. СПб. «ВВМ». 2014. С. 62-76.
198. Vinogradova E. B. Mosquitoes *Culex pipiens pipiens*: taxonomy, distribution, ecology, physiology, genetics and control [Текст] / E.B. Vinogradova. Sofia: PenSoft, 2000. 280 p.
199. Виноградова Е. Б. Влияние углеводного питания и фототермических условий на проявление автогенности у городского комара *Culex pipiens pipiens f. molestus* (Diptera, Culicidae) [Текст] / Е. Б. Виноградова // *Энтомологическое Обозрение*. 2005. Т. 84. №. 2. С. 256-261.
200. Vinogradova E. B. A study of the distribution of the *Culex pipiens* complex (Diptera: Culicidae) mosquitoes in the European part of Russia by molecular methods of identification [Текст] / E. B. Vinogradova, E. V. Shaikevich, A. V. Ivanitsky // *Comparative Cytogenetics*. 2007. V. 1. № 2 P. 129-138.

201. Фасулати С. Р. Полиморфизм, экологические группировки и микроэволюция колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera, Chrysomelidae) [Текст] / С. Р. Фасулати // Вид и его продуктивность в ареале. СПб, 1993. С. 260-262.
202. Вилкова, Н. А. Стратегия защиты сельскохозяйственных растений от адвентивных видов насекомых-фитофагов на примере колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera, Chrysomelidae) [Текст] / Н. А. Вилкова, Г. И. Сухорученко, С. Р. Фасулати // Вестник защиты растений. 2005. № 3. С. 3-15.
203. Scalera R. How much is Europe spending on invasive alien species? [Текст] / R. Scalera // Biological Invasions. 2010. V. 12. № 1. P. 173-177.
204. Darling J. A. Genetic studies of aquatic biological invasions: closing the gap between research and management [Текст] / J. A. Darling // Biological Invasions. Springer, 2014. P. 1-21. (doi:10.1007/s10530-014-0726-x).
205. Экологическая Доктрина Российской Федерации. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р.
206. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: 30 апреля 2012 г.
207. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: март 2013 года.
208. Рюмина Е.В. Экономический анализ ущерба от экологических нарушений. – М., Изд-во Наука, 2009, 332 с.
209. Павлов Д.С., Стриганова Б.Р. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований. В сборнике научных статей. «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами». – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005, с. 4 – 20.
210. Донченко В.К. Исторические аспекты формирования европейской системы экологического управления. - В Ж. «Региональная экология», № 3, 4.(32), 2011, с.7 – 24.
211. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экосистемные услуги и механизмы компенсации: потенциал России // Экономика экосистем и биоразнообразия: потенциал и перспективы стран Северной Евразии. Материалы совещания//. – М.: Изд-во Центра охраны живой природы, 2010, с.27-33.
212. Бобылев С.Н., Медведева О.Е. Экология и экономика. //региональная экологическая политика. Проект пособия//. – М. Центр экологической политики России,2003, 271 с.
213. Моткин Г.А. Экологическое страхование: итоги и перспективы. – Труды (отдельное издание) X юбилейной Всероссийской и V международной конференции:

«Теория и практика экологического страхования: итоги и перспективы», Улан-Уде, 2010, 70 с.

214. Донченко В.К., Петухов В.В., Растоскуев В.В. Географические информационные системы для поддержки принятия решений в задачах экологической безопасности «Региональная экология» №4(30) 2010. с.17-22.

215. Донченко В.К. Экологическая интеграция. (Часть 1. Социально-экономические аспекты экологической интеграции России в мировое сообщество. –СПб, НИЦЭБ РАН, 1995, 164с.

216. Кондратьев К.Я., Данилов-Данильян В.И., Донченко В.К., Лосев К.С. Экология и политика. СПб.: НИЦ экологической безопасности, 1993.

217. Бобылев С.Н., Захаров В.М. «Зеленая» экономика и модернизация. Эколого-экономические основы устойчивого развития / Бюллетень Института устойчивого развития Общественной палаты РФ «На пути к устойчивому развитию России». 2012. № 60.

218. Добровольский Г.В., Куст Г.С., Андреева О.В., Матекина Н.П. Почвенные ресурсы России: понятие, разнообразие, состояние, проблемы охраны. – В сборнике научных статей. «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами». – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005, с.35-45.

219. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Динамика лесных ресурсов и прогнозирование изменений лесного фонда. - В сборнике научных статей. «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами». – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005, с.47-60.

220. Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 01.01.2003 г.). Справочник - М.: ВНИИЛМ, 2003, 640 с.

221. Донченко В.К. Приложения теории экологической интеграции для создания трансграничных систем международной экологической безопасности. - В Ж. «Региональная экология», № 1, 2, (34), 2014, с.117 – 129.

222. Разумовский В.М. Основы эколого-экономического подхода к проектированию национальных парков. - Материалы II международной конференции «Особоохраняемые природные территории», РГО, СПб, 2000, с. 5 – 14.

223. Разумовский В.М., Червяков О.В. Формирование международной системы ООПТ Северной Европы. - Материалы II международной конференции «Особоохраняемые природные территории», РГО, СПб, 2000, с.148 – 151.

224. Селиверстов Ю.П. Особоохраняемые природно-антропогенные территории (ООПАТ). – Материалы II международной конференции «Особоохраняемые природные территории», РГО, СПб, 2000, с. 3 – 5.

225. Селиверстов Ю.П. Концепция устойчивого развития горного севера внутренней Азии и значение в ней высокогорья Укок. - Материалы II международной конференции «Особоохраняемые природные территории», РГО, СПб, 2000, с. 125 – 132.

Интернет-ресурсы

www.issg.org Global Invasive Species Database

www.europe-aliens.org Alien Invasive Species Inventories for Europe

www.barcodeoflife.org Barcode of Life

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>

9 Основные тенденции современного развития гуманитарных и общественных наук в Санкт-Петербурге

Основная цель исследования, проводимого в рамках проекта в 2014 году, – определение наиболее перспективных направлений научных исследований по гуманитарным и общественным наукам, которые проводятся в научных учреждениях Петербурга.

Задачи исследования: анализ тенденций развития фундаментальной науки в мире и России в области гуманитарных и общественных наук; составление перечня наиболее перспективных направлений развития фундаментальной науки в области гуманитарных и общественных наук; изучение научно-технического потенциала Санкт-Петербурга с точки зрения тенденций и перспектив развития фундаментальных исследований, определенных в рамках наиболее перспективных направлений в области гуманитарных и общественных наук.

9.1 Развитие фундаментальных научных исследований в области гуманитарных наук

9.1.1 Развитие современной лингвистической науки в Санкт-Петербурге

Настоящий раздел содержит обзор основных тенденций развития современной лингвистической науки в Санкт-Петербурге. Анализ векторов развития языкознания в Санкт-Петербурге позволяет сделать выводы о многообразии и эффективности существующих научных направлений в лингвистике, а также о высоком уровне конкретных исследовательских проектов. Вместе с тем полученные данные выявляют ряд проблем, существующих в современной петербургской лингвистике, а также позволяют обнаружить лакуарность в разных областях исследовательской деятельности.

Вначале представлена краткая характеристика наиболее динамично развивающихся направлений, затем — направлений с ярко выраженными «проблемными» зонами (затухание активности, низкая публикационная активность, узкий круг последователей и т.д.). В конце — краткий список направлений, исследования по которым не ведутся в Санкт-Петербурге или представлены отдельными фрагментарными исследованиями.

Основные научные проекты в России в отчете охарактеризованы по данным следующих источников информации: сайт <http://www.corplingran.ru/> (Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Корпусная лингвистика»); сайты академических институтов (ИРЯ РАН, ИЛИ РАН, Ияз РАН, ИМЛИ РАН и др.), сайты российских высших учебных заведений, сайт Российского индекса научного цитирования <http://elibrary.ru>, журнал «Вопросы языкознания» (2011-2013 гг.); журнал «Вестник

Российского гуманитарного научного фонда» (№№ 61 — 71); сайты РНФ, РГНФ, РФФИ, материалы научных конференций.

Объектом описания являются научные и научно-практические проекты и разработки в области языкознания, проводимые тремя научными центрами и их подразделениями: ИЛИ РАН; СПбГУ (филологический факультет, межкафедральный словарный кабинет им. Б.А. Ларина, ; РГПУ им. А.И. Герцена (филологический факультет, факультет иностранных языков, научно-исследовательские лаборатории (детской речи; машинного перевода; инженерной лингвистики).

Источниками информации о развитии лингвистической науки в Санкт-Петербурге послужили опубликованные научные отчеты за последние три года, материалы международных конференций и симпозиумов, проводившихся в Санкт-Петербурге в течение последних трех лет, сведения РГНФ, РФФИ и РНФ о текущих проектах, поддержанных фондами. Анализ публикационной активности руководителей направлений и ключевых исполнителей проводился по базе РИНЦ. Кроме того, использовались данные выборочного опроса руководителей исследовательских проектов.

Современный этап развития лингвистики характеризуется возросшим интересом к динамическим аспектам языка и переходом к антропоцентрической лингвистике, которая изучает язык во взаимосвязи с человеком, сознанием и мышлением, а также различными видами деятельности. Е.С. Кубрякова выделяет следующие отличительные парадигмальные черты современной лингвистики:

1) *Экспансионизм* как общая тенденция развития науки: если традиционная лингвистика не выходила за пределы анализа языкового знака, то лингвистика является «открытой» наукой с явной тенденцией к расширению ее пределов, с тяготением к интеграционным процессам, которые приводят к выделению междисциплинарных программ исследования. Наиболее полно эта тенденция проявилась в формировании новых – гибридных – наук, опосредованно связанных с лингвистикой, причём список этих научных дисциплин, начинавшийся в середине XX века с этнолингвистики, психоллингвистики и социоллингвистики, в конце XX века и на рубеже XX-XXI вв. пополнился лингвогносеологией (когнитивной лингвистикой), нейролингвистикой, лингвокультурологией, корпусной лингвистикой, политической лингвистикой, лингвокриминалистикой, лингвопраксеологией, лингвопалеонтологией.

2) *Антропоцентризм* как особый принцип исследования, заключающийся в том, что научные объекты изучаются прежде всего по их роли для человека, по их назначению в его жизнедеятельности, по их функциям для развития человеческой личности и ее усовершенствования. Он охватывает два круга проблем – «человек в языке» (направление,

заданное Э. Бенвенистом и обозначившееся в отечественном языкознании 80-х годов XX в. как «человеческий фактор в языке») и «язык в человеке» (лингвогносеология во всех её ответвлениях: собственно когнитивистика; экспериментальная и лексикографическая разработка теории языковой личности; изучение языковой картины мира, теоретическая; и др.).

3) *Функционализм* (неофункционализм) как общее методологическое основание большинства современных лингвистических исследований. Языковой знак изучается не как статическая единица, а с позиций его функционирования в дискурсе, с точки зрения его обусловленности характером дискурса, в котором он используется (интернет коммуникация, «язык города», медицинский дискурс и др.).

4) *Экспланаторность*, то есть стремление не просто к описанию, но к объяснению таких языковых фактов и явлений, которые ранее, до формирования системы разнообразных психолингвистических экспериментов, не были доступны языковедам. Наиболее ярко это проявилось в когнитивной лингвистике.

Такое изучение языка сопряжено с выходом за пределы одной частной парадигмы, т.е. с принципиальной полипарадигмальностью современной лингвистики⁴.

Эти принципы в сочетании с опорой на многолетние научные традиции во многом определили развитие основных направлений современной мировой и отечественной лингвистики.

Современная мировая лингвистика является комплексной областью знания, существующей на стыке гуманитарных и естественных наук и соединяющей «функциональные» (когнитивные) и «формальные» (естественнонаучные и математические) подходы к языку.

Наиболее динамично развиваются корпусная лингвистика, лингвистика детской речи (проблемы усвоения языка), когнитивная лингвистика, теоретическое и прикладное терминоведение, гендерная лингвистика, политическая лингвистика (PR-лингвистика), теоретическая семантика.

Востребованы исследования на основе синтеза разных видов источников — из области истории, языкознания, топонимики, археологии.

КОРПУСНАЯ ЛИНГВИСТИКА — одно из наиболее перспективных направлений в современной теоретической и прикладной лингвистике, основанное на использовании языковых электронных корпусов и корпусных технологий. Развитие этого научного

⁴ См.: Кубрякова Е.С. Эволюция лингвистических идей во второй половине XX в. (опыт парадигмального анализа) // Язык и наука конца 20 века. М., 1995. С. 207 и след.

направления в Российской Федерации поддерживается Программой фундаментальных исследований Президиума РАН.

Развитие и использование электронных корпусов – это одно из наиболее передовых направлений современной лингвистики; именно в рамках этого направления наиболее вероятны инновационные результаты как в области теоретической лингвистики (получение новых знаний об устройстве языка), так и в области прикладной лингвистики (получение технологий нового поколения для автоматической обработки текстов и ускоренная модернизация методов лингвистических исследований).

Программа подразделяется на четыре основных направления:

- Создание и развитие корпусных ресурсов по *современному русскому языку*.
- Создание и развитие корпусных ресурсов по *истории русского языка*.
- Создание и развитие корпусных ресурсов по *языкам народов России*.
- Создание и развитие корпусных ресурсов по *языкам мира*.

В реализации программы принимают участие специалисты академических институтов (ИЯ РАН, ИРЯ РАН, ИЛИ РАН, ИМЛИ РАН) и ряда высших учебных заведений. Так, например, в реализации проекта «Развитие корпусной грамматики русского языка» принимают участие специалисты из ИРЯ РАН, ВИНТИ РАН, МГУ, МПГУ, НИУ ВШЭ, ПСТГУ (Православный Свято-Тихоновский гуманитарный университет). Над проектом «Электронный корпус древнетюркских текстов» работает объединенная группа ученых из ИЯ РАН, МГУ, Центра компаративистики ИВКА РГГУ, Института восточных рукописей РАН, Горно-Алтайского госуниверситета, ИФ СО РАН и СПбГУ.

Подробные отчеты по направлениям представлены на сайте программы: <http://www.corplingran.ru/index.html> , поэтому ограничимся перечислением некоторых проектов: Развитие мультимедийного модуля Национального корпуса русского языка (ИРЯ РАН), Рассказы о свидениях и другие корпуса звучащей речи: продвинутый этап (ИЯз РАН, РГГУ, МГУ), Создание корпусной справочной системы по синтаксису русского языка (ИЛИ РАН); Электронный корпус древненовгородских письменных источников: летописи, деловые и юридические памятники (ИнСлав РАН), Подкорпус древнерусских текстов XI-XIII вв.(ИРЯ РАН); Создание подкорпуса фольклорных текстов в составе Национального корпуса русского языка (ИМЛИ РАН); Создание корпусов на диалектах языков Поволжья (Ияз РАН); Создание корпуса текстов республиканских газет на башкирском языке (ИИЯЛ УНЦ РАН), Корпус вепского языка: пополнение и развитие

электронного ресурса (ИЯЛИ КарНЦ РАН); Корпус новогреческого языка; Корпус языка идиш (ИЛИ РАН).

Корпусная лингвистика активно развивается и вне академической сферы: во многих высших учебных заведениях реализуются проекты, связанные с созданием и использованием языковых электронных корпусов. Так, в 2013 году было выделено 17 грантов РГНФ для проектов создания и приобретения программного обеспечения в МГУ, РГГУ, СПбГУ, ПетрГУ, КФУ, УрФУ, что свидетельствует о развитии научного направления «Корпусная лингвистика» не только в крупных научных центрах, но и в России в целом. Приведем ряд названий проектов, реализуемых в университетах страны:

«Создание веб-платформы для формирования базы данных и предоставления информационных услуг по истории российских печатных средств массовой информации» (МГУ); «Создание многоцелевой образно-графической и текстовой базы данных по памятникам народной архитектуры Северного Поонежья для сети Интернет» (ПетрГУ); «Создание информационно-образовательного ресурса «Хальмг келн» (Калмыцкий язык)» (КалмГУ); «Новый открытый тезаурус русского языка (УрФУ им. Б.Н. Ельцина).

Исследовательская работа по направлению «КОРПУСНАЯ ЛИНГВИСТИКА. ФОРМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА РУССКОЙ РЕЧИ» активно ведется во всех научных центрах Санкт-Петербурга. Об интенсивности развития и о перспективах данного направления свидетельствует большое количество реализуемых в Санкт-Петербурге научно-исследовательских тем и проектов.

Регулярно (один раз в два года) в Санкт-Петербурге проводится Международная научная конференция «Корпусная лингвистика». Конференцию проводит филологический факультет СПбГУ совместно с ИЛИ РАН и РГПУ им. А.И. Герцена.

Основные проекты направлены на разработку средств и методов создания корпусов специальных текстов, а также их использования для исследования языка и решения практических лексикографических задач. Таким образом, в рамках данного направления достигнуто оптимальное соотношение фундаментальных и прикладных исследований.

Среди наиболее масштабных и значимых проектов — «Модель интегрированного программно-лингвистического комплекса для создания специализированных корпусов русского языка» (рук. В.П. Захаров); «Автоматическое преобразование текстовой информации в метаязыковую структуру данных» (рук. Т.В. Скребцова); «Автоматическое распознавание и моделирование информационной структуры экспрессивной речи» (рук. П.А. Скредлин); ряд проектов по созданию Звукового корпуса русского языка

(комплексный анализ звучащей речи) под руководством Н.В. Богдановой-Бегларян, например: «Информационная словарная система «Язык мегаполиса».

В соответствии с решением Президиума Научного совета при правительстве Санкт-Петербурга по науке и высшей школе в Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга включена школа Р.Г. Пиотровского «Прикладные исследования языка и речи» (руководитель Л.Н. Беляева).

В РГПУ им. А.И. Герцена работает Центр теоретических и прикладных компьютерных исследований в филологии, основное направление деятельности которого включает проведение фундаментальных и прикладных исследований речемыслительной деятельности человека на основе различных информационных технологий, а также внедрение результатов исследований в учебный процесс на гуманитарных факультетах в целях оптимизации преподавания родного и иностранного языков.

Значимость достигнутых результатов по направлению подтверждается большим количеством грантов РГНФ фонда «Русский мир» и РФФИ, а также активным участием исследователей в международных конференциях и программах межвузовского обмена (Н.В. Богданова-Бегларян, В.П. Захаров).

Публикационная активность руководителей проектов высокая: Л.Н. Беляева 58 — 66 — 2; Н.В. Богданова-Бегларян 11 — 93 — 2; В.П. Захаров 35 — 155 — 3).

Несмотря на очевидную научную значимость исследований и разработок в области обработки естественного языка, можно говорить о наличии следующих проблем, тормозящих дальнейшее успешное развитие направления в Санкт-Петербурге:

- *недостаточное количество доступного качественного инструментария и вспомогательных утилит для обработки текста, для распознавания речи, и т.д.;*
- *нехватка общедоступных информационных ресурсов: машиночитаемых словарей, тезаурусов, размеченных корпусов текстов, банков данных;*
- *недостаточное количество экспертов;*
- *недостаточное количество тематических мероприятий и образовательных программ;*
- *недостаточная разработанность русскоязычной терминологической базы данных по направлению;*
- *недостаточная учебно-методическая обеспеченность университетских курсов;*
- *недостаточное участие Санкт-петербургских исследователей в проектах многосторонних международных конкурсов.*

РУССКОЕ ИСТОРИЧЕСКОЕ ЯЗЫКОЗНАНИЕ — научное направление, имеющее в России более чем полуторастолетнюю историю. Основные научные центры, занимающиеся историко-словарной проблематикой, — ИРЯ РАН (Москва), ИЛИ РАН (Санкт-Петербург), МГУ, СПбГУ, Удмуртский университет (портал «Манускрипт»).

В ИРЯ РАН научные исследования по данному направлению ведут сотрудники нескольких отделов.

В Отделе исторической лексикографии продолжается работа над созданием Словаря русского языка XI–XVII вв., универсального словаря письменной культуры русского Средневековья. Источниками Словаря являются памятники самого широкого жанрового и хронологического диапазона. Завершена авторская работа над 30-м выпуском, включающим статьи до буквы У, завершается его редактирование; выполняется авторская и редакторская работа по подготовке к изданию 31 (до слова УМЫТНИКЪ) и 32 выпусков. Помимо словарной работы, сотрудники отдела ведут работу над следующими темами: старорусская деловая письменность; Четии Минеи Дмитрия Ростовского; история русской церковной науки; византийско-русские культурно-языковые связи; древнерусская орфография и фонология и др.

Основные исследовательские проекты отдела: «Историко-лексикографическое описание русского языка XI–XVII вв.»; «Русская историческая лексикография как способ описания культурно-языковой эволюции восточных славян в эпоху Средневековья»; «Лексикологическое исследование и словарное описание лексики русского языка XI–XVII вв.».

Отдел древнерусского языка продолжает начатую по инициативе и под руководством Р.И. Аванесова работу над Словарем древнерусского языка (XI–XIV вв.) [СДРЯ]; к настоящему времени издано 10 томов словаря, ведется работа над XI и XII томами (свЕне — съ).

Основные издательские и исследовательские проекты: «Язык и литература в контексте культурной динамики»; «Древняя Русь: эволюция в слове»; «Язык Древней Руси (XI–XIV вв.): лексикографическое описание»; «Древнерусские рукописи XII в.: исследование и подготовка к изданию»; «Создание электронной информационно-поисковой системы с реализацией доступа на базе Словаря древнерусского языка».

Отдел лингвистического источниковедения и истории русского литературного языка ведет работу по созданию Корпуса памятников русской письменности XI–XVIII вв. на электронных носителях.

Серьезные научные исследования по русскому историческому языкознанию проводятся также в Удмуртии на базе ряда высших учебных заведений. Солидная база данных текстов и разнообразных справочных материалов представлена на базе информационно-аналитической системы "Манускрипт" (портал проекта "Манускрипт: славянское письменное наследие" <http://manuscripts.ru>).

Основные исследовательские проекты Удмуртского государственного университета и Ижевского государственного технического университета, поддержанные грантами РГНФ, РФФИ, грантами Президента РФ и федеральными целевыми программами:

«Комплексное исследование рукописного кодекса раннедревнерусского письма – Троицкого сборника XII–XIII вв. и подготовка интернет-издания»; «Параллельный корпус русских летописей XIII–XV вв.: аналитическая разметка и совершенствование технологий визуализации в Интернете»; «Средневековый славянский текст как объект текстологического, лингвистического и структурного моделирования: обеспечение миграции полнотекстовых машиночитаемых исторических документов»; «Лингвистическое обеспечение аннотированного корпуса древнерусских Евангелий XI–XIII вв.»; «Лингвотекстологические и корпусные исследования грамматической семантики древнерусского текста»; «Лексическая, грамматическая и деривационная семантика тезауруса древнерусского языка как объект исследования при создании полнотекстовых электронных коллекций древних славянских памятников».

Таким образом, русское историческое языкознание в России сегодня имеет два основных направления – корпусное и лексикографическое.

В Санкт-Петербурге научное направление «ИСТОРИЧЕСКАЯ ЛЕКСИКОЛОГИЯ И ЛЕКСИКОГРАФИЯ», объединяющее целый ряд исследовательских проектов, разрабатываемых научными коллективами и отдельными исследователями, является одним из наиболее разработанных и одновременно перспективных.

Фундаментальные исследования, проводимые петербургскими учеными, проводятся в рамках «классической» парадигмы лингвистики с учетом новейших тенденций и методов современной гуманитарной науки. Высокий научный уровень, разработанность и перспективность направления в Санкт-Петербурге обусловлены (подтверждаются) различными фактами или факторами.

В первую очередь, это наличие нескольких стабильных коллективов профессиональных исследователей, ведущих работу по каждому из проектов в рамках направления: Словарный отдел ИЛИ РАН, выполняющий ряд государственных заданий по русской исторической лексикологии и лексикографии нового времени (XVIII и XIX

вв.), а также по исследованию языковой личности М.В. Ломоносова (руководители групп: С.С. Волков, В.Н. Калиновская И.А. Малышева).

Целый ряд фундаментальных исторических исследований проводится в СПбГУ. Основные темы проектов связаны с исследованием русской литературной культуры XVIII века в контексте риторической традиции, анализом формирования языка гуманитарных наук в России, а также с описанием лексики русского языка в функциональном и историческом аспекте (руководители проектов: П.Е. Бухаркин, А.С. Герд, К.А. Филиппов).

Исследования в области исторической лексикологии и лексикографии высоко оцениваются лингвистическим экспертным сообществом: многие исследования получают серьезную грантовую поддержку. В настоящее время по направлению в целом грантовую поддержку получают 10 исследовательских и издательских проектов (Вариантность в русском языке XVIII века (Малышева И.А., ИЛИ РАН); Дифференциальный словарь «Словаря русского языка XIX века» (буквы м - н — о) (Калиновская В.Н., ИЛИ РАН); Разработка метаязыка словаря нового типа («Словарь языка М.В. Ломоносова»): теоретический и прикладной аспекты. (Матвеев Е.М., ИЛИ РАН) и другие).

Одним из показателей высокой результативности исторических исследований является их лексикографическое представление. Исследование лексического состава русского языка нового времени создает научно выверенную словарную базу для лексикографического описания динамических процессов в русской лексике XVIII и XIX вв., исследование семантики языковых единиц идиолекта М.В. Ломоносова служит основой для многотомного словарного описания языка великого ученого.

Проект «Трехязычный словарь языка М.В. Ломоносова» поддержан грантом РГНФ, в Вестнике фонда опубликована большая статья, посвященная проекту (№ 3 (68), 2012).

Отметим также высокую публикационную активность большинства ученых-руководителей проектов: Бухаркин 16 публ. — 77 цит. — 2 НИ; Волков 6 — 66 — 1; Матвеев 5 — 3 — 1; Малышева 4 — 12 — 2; Филиппов 10 — 174 — 3.

К числу наиболее значительных публикаций последнего времени, кроме словарных изданий, относятся:

Филологическое наследие М.В. Ломоносова: коллективная монография / отв. ред. П.Е. Бухаркин, С.С. Волков, Е.М. Матвеев. СПб.: Нестор-История, 2013.

Риторика М.В. Ломоносова: проект словаря / отв. ред. П.Е. Бухаркин, С.С. Волков, Е.М. Матвеев. СПб.: Геликон плюс, 2013.

Окказиональная литература в контексте праздничной культуры России 18 века / Под редакцией П.Е. Бухаркина, У. Екуч, Н.Д. Кочетковой. - СПб, Филологический ф-т СПбГУ, 2010.

Василий Евдокимович Адодуров. Первые основания русского языка. СПб, 2014 (серия «Формирование русской академической грамматической традиции»).

Одним из разделов исторического языкознания является направление «ИСТОРИЯ ЯЗЫКА И ПАЛЕОСЛАВИСТИКА», занимающее важное место в лингвистическом научно-образовательном пространстве Санкт-Петербурга.

В СПбГУ при кафедре русского языка открыта магистратура по данной специальности, представляющая современную методологию и новейшие методики филологического изучения древних текстов; ежегодно работает секция «Письменная культура Древней Руси» на Международной филологической конференции, в работе которой принимают участие ученые из Пушкинского дома, ИЛИ РАН, ИРЯ РАН, МГУ и СПбГУ, а также ряда российских университетов.

В период с 1987 по 2010 год вышла серия научных изданий памятников древнерусской агиографической литературы и словоуказателей к ним:

Герд А. С., Кузнецова Е. Л., Аверина С. А., Зубова Л. В. Словоуказатель к памятнику древнерусской литературы XV в. «Повесть о Петре и Февронии» // Русская региональная лексика XI–XVII вв.— М., 1987.

Житие Александра Свирского: Текст и словоуказатель / Под ред. А.С.Герда. СПб., 2002.

Житие Антония Сийского: Текст и словоуказатель / Под ред. А.С.Герда. СПб., 2003.

Житие Кирилла Белозерского: Текст и словоуказатель / Под ред. А.С.Герда. СПб., 2000.

Житие Кирилла Новоезерского: Под ред. А.С.Герда. СПб., 2003.

Житие Корнилия Комельского: Текст и словоуказатель / Под ред. А.С.Герда. СПб., 2004.

Жития Димитрия Прилуцкого, Дионисия Глушицкого и Григория Пельшемского: Текст и словоуказатель / Под ред. А.С.Герда. СПб., 2003.

Жития Павла Обнорского и Сергия Нуромского / Под ред. А.С.Герда. СПб., 2005.

Жития Иосафа Каменского, Александра Куштского и Евфимия Сянжемского / Под ред. А.С.Герда. СПб., 2007.

Жития Иннокентия Комельского, Арсения Комельского и Стефана Комельского /
Под ред. А.С.Герда. СПб., 20010.

На кафедре математической лингвистики СПбГУ создан электронный корпус текстов по памятникам древнерусской агиографической литературы «СКАТ», первостепенной задачей которого является отображение языка русской агиографической литературы XV–XVII вв. В более дальней перспективе планируется создание фундаментального сводного словаря русской агиографии. К настоящему времени в базу данных введено более 50 рукописей общим объемом около 500 000 словоупотреблений.

Проблемы по направлению в целом: недостаточное количество лексикографических проектов, объектом и предметом которых является русский язык «до нового времени». Данный период истории языка представлен только в проекте СПбГУ «Лексика русского языка в функциональном и историческом аспектах» (А.С. Герд), посвященном изучению лексического состава русского языка на материале письменных памятников Московской Руси XVI–XVII вв., а также в лексикографическом проекте «Словарь обиходного русского языка Московской Руси XVI–XVII».

ДИАЛЕКТОЛОГИЯ. РЕГИОНАЛЬНАЯ ЛЕКСИКОЛОГИЯ И ОНОМАСТИКА

Основные академические центры: ИРЯ РАН (Словарный отдел), ИЛИ РАН (Отдел диалектологии и лингвистической географии), ИФ СО РАН (Сектор русского языка в Сибири).

По данным Информационного центра «Русская диалектология», крупные диалектологические центры расположены в следующих городах:

Арзамас (Кафедра теории и истории русского языка Арзамасского государственного педагогического института им. А.П. Гайдара / научно-исследовательская лаборатория диалектологических исследований); основное направление работы — «Лексическая система нижегородских говоров»;

Владимир (Кафедра русского языка филологического факультета Владимирского государственного гуманитарного университета): сбор материалов для ЛАРНГ; работа над Словарем владимирских говоров;

Воронеж (Кафедра русского языка филологического факультета Владимирского государственного гуманитарного университета): составление Словаря воронежских говоров;

Екатеринбург (Кафедра русского языка и общего языкознания Уральского государственного университета): составление Словаря говоров Русского Севера;

Казань (Кафедра теоретической и прикладной лингвистики Казанского государственного университета (Приволжский федеральный университет): создание Электронной библиотеки русских говоров (на базе диалектологических экспедиций 1960 — 1990-е гг.);

Киров (Кафедра русского языка Вятского государственного гуманитарного университета): составление выпусков Областного словаря вятских говоров;

Красноярск (Региональный лингвистический центр (РЛЦ) филологического факультета Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева): Словарь русских говоров центральных районов Красноярского края;

Москва (Кафедра русского языка филологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова): Архангельский областной словарь; Интерактивный проект «Фонетика русских диалектов»;

Нижний Новгород (НГУ им. Н.И. Лобачевского. Филологический факультет. Кафедра истории русского языка и сравнительного славянского языкознания. Лаборатория лексикографических исследований им. В.И. Даля): Диалектный словарь Нижегородской области; сбор материалов для ЛАРНГ;

Омск (Кафедра исторического языкознания филологического факультете Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского): идеографический диалектный словарь Северного Прииртышья;

Пермь (Кафедра общего и славянского языкознания филологического факультета Пермского государственного университета): Словарь русских говоров Севера Пермского края; Словарь говора д. Акчим Красновишерского района Пермской области и др.;

Петрозаводск (Лаборатория лингвистического краеведения и языковой экологии при кафедре русского языка историко-филологического факультета Карельской государственной педагогической академии): Словарь русских говоров Карелии с историческими и этнокультурными данными; сбор данных для ЛАРНГ;

Псков (Проблемная научно-исследовательская лаборатория региональных филологических исследований): участие в составление Псковского областного словаря с историческими данными (СПбГУ), сбор материалов для ЛАРНГ;

Самара (Кафедра русского языка филологического факультета Самарского государственного университета): Атлас говоров Самарского края;

Томск (Кафедра русского языка Томского государственного университета (Томская диалектологическая школа, возглавляемая О.И. Блиновой) Полный словарь диалектной языковой личности; Словарь томских фамилий 17 — нач. 18 века. Тюмень (Кафедра

общего языкознания Тюменского государственного университета): Словарь русских старожильческих говоров юга Тюменской области;

Челябинск (Кафедра русского языка и методики преподавания русского языка Челябинского государственного педагогического университета / Межвузовская проблемная лаборатория по лингвокраеведению Южного Урала и Зауралья): Словарь русских говоров Южного Урала.

РУССКАЯ ДИАЛЕКТОЛОГИЯ, ДИАЛЕКТНАЯ ЛЕКСИКОГРАФИЯ И ЛИНГВОГЕОГРАФИЯ — одно из ведущих направлений фундаментальных лингвистических исследований в Санкт-Петербурге, реализуемое несколькими научными коллективами: группа Лексического атласа Словаря русских народных говоров (Словарный отдел ИЛИ РАН) и Межкафедральный словарный кабинет им. Б.А. Ларина (СПбГУ). Словарный кабинет им. В.И. Чагишевой (РГПУ им. А.И. Герцена) располагает богатейшей и в настоящее время оцифрованной картотекой брянских говоров, но активной диалектологической и лексикографической работы последние годы не ведёт.

Основные проекты: Словарь русский народный говоров (ИЛИ РАН); Лексический атлас русских народных говоров; Псковский областной словарь с историческими данными (СПбГУ); Печорский словарь (СПбГУ); Словарь русских говоров Карелии и сопредельных областей).

Грантовая поддержка: высокая в ИЛИ РАН.

Публикационная активность: высокая (Герд (?) 56 — 823 — 6; Мызников 40 — 168 — 4).

Монографии С.А. Мызникова: Русские говоры Среднего Поволжья. СПб.: Наука, 2005. Лексика финно-угорского происхождения в русских говорах северо-запада: этимологический и лингвогеографический анализ. СПб.: Наука, 2004. Русские говоры Обонежья: ареально-этимологическое исследование лексики прибалтийско-финского происхождения. СПб.: Наука, 2003.

Проблемы: Приостановка работы с картотекой брянских говоров в РГПУ им. Герцена, одной из причин чего является отсутствие курса «Диалектология» в учебном плане факультета, и как следствие – нарушение лексикографической традиции.

Вторая проблема: никаких сведений о развитии диалектологии и лингвогеографии в СПб нет на сайте Информационного центра «Русская диалектология» (ИРЯ РАН)!!

РУССКАЯ АКАДЕМИЧЕСКАЯ ЛЕКСИКОГРАФИЯ⁵:

Санкт-Петербург является центром российской академической лексикографии: именно здесь была создана и реализована концепция Большого Академического Словаря.

В Словарном отделе Института лингвистических исследований РАН с 2004 года ведется работа по созданию Большого академического словаря русского языка в 30 томах (в 2014 году вышел 23-ий том).

Словарь продолжает и развивает богатые традиции академической лексикографии в России. Большой академический словарь (далее БАС) — самый значительный по объему нормативной лексики словарь русского языка. Авторы словаря позиционируют его не как переиздание, а как новый академический словарь, в котором будет собрано и объяснено более 150 000 слов русского языка его классического (XIX в.) и нового (XX—XXI) периодов. Он включает в себя общеупотребительную лексику русского языка от эпохи Пушкина до наших дней, отражает слова и обороты речи, широко распространенные в быту, в научной и профессиональной среде, т. е. во всех сферах жизни человека, говорящего на русском языке; в нем нашли место и отдельные слова ограниченного употребления: узкоспециальные, диалектные, жаргонные, достаточно широко используемые в разговорной речи, а также в художественной и научно-популярной литературе. В Словаре приводятся также типичные сочетания, свойственные словам русского языка, фразеологизмы и большое количество сложносоставных слов со словами типа авто..., видео..., радио..., теле... и т.п. БАС включает большое число новых слов (например, в 8 томе - 840 новых слов, в 9 и 10 – 1439 новых слов, в 11 – 210 новых слов, в 12 – 540, и это не считая сотен новых значений, употреблений и устойчивых словосочетаний и фразеологизмов).

Начиная с конца XVIII века, в истории лексикографии в Российской Академии наук постепенно сформировался особый тип многотомного академического словаря — Большой академический словарь (БАС). Примерами словарей этого типа являются: Словарь Академии Российской 1789—1794 и 1806—1822 гг., Словарь церковнославянского и русского языка 1847 г., Словарь современного русского литературного языка в 17 томах 1948—1965 гг., и незаконченные издания: Словарь русского языка под ред. Я. К. Грота и А. А. Шахматова, Словарь современного русского литературного языка АН СССР в 20 томах 1991 — 1994 гг. (вышло 6 томов).

⁵ Горбачевич К.С., Герд А.С. Предисловие // Большой академический словарь русского языка. Т. 1 М. СПб, 2004, с. 3-6. Людмила Е. Кругликова. Большой академический словарь как продолжатель традиций русской академической лексикографии // Cuadernos de Rusística Española nº8 (2012), 177-198.

С момента выхода последнего тома ССРЛЯ прошло 47 лет (первого тома – 64 года), т.е. Можно говорить о том, что БАС является новым для двух поколений людей. Изменения затронули прежде всего словник словаря, причем как в количественном, так и в качественном отношении. ССРЛЯ насчитывал 120 480 слов. Заявленный объем БАС 150 000 слов, но он будет значительно превышен, так как использование при его составлении наряду с Большой словарной картотекой ИЛИ РАН, насчитывающей свыше 8 000 000 словоупотреблений, электронных ресурсов позволило выявить новые языковые единицы, которые выпали из поля зрения при традиционной выборке материала. Электронная база словаря, которой располагает на сегодняшний день ИЛИ РАН, появилась в конце 2008 года и насчитывает в настоящее время 1,4 миллиарда словоупотреблений около 5 000 000 русскоязычных слов XVIII–XXI вв. (для сравнения: по состоянию на весну 2010 года корпус английского языка во всех его вариантах, используемый при создании Оксфордского словаря, содержал 2 млрд. словоупотреблений).

Использование электронных ресурсов было неравномерным при создании БАС: словарь начал создаваться практически без их применения. Первый том БАС вышел из печати в 2004 году. Сайт Национального корпуса русского языка был открыт также в 2004 году. На 20 января 2012 года его основной корпус письменных текстов превысил 209 миллионов словоупотреблений.

Собственный обширнейший корпус текстов стал доступен составителям словаря только в последние три года. До этого был возможен лишь прямой поиск с использованием традиционных поисковых систем.

Проблемы: ограниченный состав исполнителей (над БАС работает всего 8(12) человек, для сравнения: над Оксфордским словарем трудится 80 специалистов); высокая продажная стоимость издания, небольшой тираж.

НЕОЛОГИЯ как научное направление возникла в конце 60-х гг. XX в., в 70-е гг. от нее отпочковалась неография, в 80-е и 90-е гг. в рамках новых становящихся научных парадигм начали формироваться особые направления в изучении неологизмов: психолингвистическое, когнитивное, коммуникативное и др. В настоящее время неология и неография образуют особую, активно развивающуюся область лингвистического знания.

Основным «неологическим центром» современной России является словарный отдел ИЛИ РАН. Кроме того, неологическая тема активно присутствует в исследованиях ученых кафедры современного русского языка и общего языкознания филологического факультета Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского (Радибурская Л.В. Неология и

неография современного русского языка. — М., 2005; Маринова Е.В. Проблемы отечественной неологии. — Н. Новгород, 2003; Маринова Е.В. Иноязычные слова в русской речи конца XX — начала XXI в.: проблемы освоения и функционирования. — М., 2008), а также Уральского государственного университета (Т.В. Попова Русская неология и неография. — Екатеринбург, 2005).

НЕОЛОГИЯ и НЕОГРАФИЯ — научное направление, развивающееся в Санкт-Петербурге с 1960-х годов двадцатого века. Группа словарей новых слов ИЛИ РАН — единственный в стране научный центр и научный коллектив, занимающийся регулярным обследованием русского языка в аспекте неологии. В мировой и всероссийской науке этот опыт уникален своим широким подходом к пониманию языковых лексических инноваций, разнообразием существующих типов неологических словарей.

Сотрудники группы новых слов Словарного отдела ИЛИ РАН продолжают работу по подготовке и изданию словарей созданной Н.З. Котеловой «неографической триады» (словари-ежегодники, словари-десятилетники и академический «Словарь новых слов русского языка»); продолжают и развивают лексикографическую традицию регулярного выпуска словарей, содержащих только новую лексику определенного года (периода времени).

Помимо словарных изданий, наиболее перспективным, трудо- и ресурсоемким является проект «Неологическая служба русского языка», ожидаемые результаты которого включают создание на портале neologia.ru интернет-ресурса по неологии современного русского языка, включающего разделы «Словари новых слов русского языка ИЛИ РАН» (с интерактивным поисковым сервисом с использованием средств морфологического и словообразовательного анализа), «Научные работы по неологии и неографии», «Библиографические указатели по неологии и неографии».

Группа словарей новых слов получает серьезную грантовую поддержку, направленную на продолжающиеся издательские проекты (Новые слова и значения. Словарь-справочник по материалам прессы и литературы 90-х годов XX века. Т. 2, 3 (рук. Т.Н. Буцева), а также на создание Неологической службы русского языка (Неологическая служба русского языка (рук. Т.Н. Буцева).

Публикационная активность: средняя (руководитель направления — 7 публикаций в РИНЦ).

Неологическая тема постоянно присутствует в исследовательском и учебном процессе СПбГУ, но постоянно действующих проблемных групп по данной тематике в настоящее время нет.

Проблемы: некоторая задержка своевременного лексикографического представления результатов неологической работы, отсутствие немедленной реакции на потребность филологической общественности в ежегодных компактных кратких выпусках «НРЛ» (необходимость ежегодных компактных выпусков НРЛ). Кроме того, возможна переориентация на новые формы научного продукта: электронное издание «промежуточных» выпусков или материалов словарей.

Необходима результативная работа над сайтом neologia.ru (по аналогии с neologia.org / The English Neologia Society);

Решение данных проблем позволит вывести направление в разряд инновационных.

ГРАММАТИКА — традиционный объект пристального внимания российских лингвистов. Интересом к проблемам грамматической теории отмечены исследования ученых МГУ, ИРЯ, Ияз, ВШЭ (Г.А. Золотова, Н.К. Онипенко, В.Е. Клобуков; В.А. Плунгян, М.В. Ляпон), Воронежского, Екатеринбургского, Тамбовского университетов, Сибирского отделения РАН.

В 2013 году на базе ИРЯ РАН образован Центр Грамматических исследований под руководством Г.И. Кустовой. Основные задачи работы центра: разработка концептуального аппарата грамматических исследований, ориентированного на современные морфологические и синтаксические теории; исследование актуального состояния и основных тенденций изменения грамматической системы русского языка с использованием компьютерных технологий и электронных ресурсов; проведение научных семинаров, круглых столов и конференций, посвященных современным проблемам грамматической науки; создание ресурсов для профессиональных лингвистических исследований (электронных баз данных) с использованием материалов НКРЯ.

«ТЕОРИЯ ГРАММАТИКИ» – одно из основных направлений петербургской лингвистики, развивающееся в условиях интеграции академической и университетской науки. В отделе теории грамматики ИЛИ РАН проводятся исследования, направленные на развитие теории функциональной грамматики, основанной на понятиях функционально-семантического поля и категориальной ситуации. Работа ведется в сотрудничестве с лабораторией типологического изучения языков ИЛИ РАН, возглавляемой В.С. Храковским.

В настоящее время в отделе ведется работа по следующим темам:

- Глагольные категории в системе функциональной грамматики;
- Предикативные категории в высказывании;
- Теория высказывания;

- Проблемы моделирования в синтаксисе;
- Проблемы грамматической семантики;
- Употребление видо-временных форм в диахроническом аспекте.
- Проблемы онтолингвистики.

Работа научной школы поддерживается многочисленными грантами (Президентский грант, РФФИ, РНФ, РГНФ).

Соединение научного потенциала академических учреждений и практического опыта вузовских преподавателей нашло воплощение в издании учебника «Морфология современного русского языка: учебник для высших учебных заведений РФ» СПб, Филол. ф-т, 2013.

В РГПУ им. А.И. Герцена ведутся исследования по смежному направлению: «Структурно-функциональный анализ грамматических категорий в предложении и тексте» (В Реестре научных школ зарегистрирована научная школа под руководством С.Г. Ильенко «Русистика: функциональные процессы языка, речи, текста»).

В целом по направлению отмечается очень высокий уровень грантовой поддержки и публикационной активности. (Бондарко 42 — 2242 — 8; Воейкова 10 — 37 — 1; Дымарский 75 — 318 — 5; Ильенко 68 — 188 — 7).

Проблемы: не выявлено.

Развитие фундаментальных научных исследований по проблемам овладения языком в раннем детском возрасте выделило ОНТОЛИНГВИСТИКУ в самостоятельную дисциплину со своими вариантами общих и частных теорий. В последние годы онтолингвистику определяют не только как лингвистику детской речи, а более широко — как лингвистику приобретения и развития языка вообще. Наука существует на стыке нескольких научных дисциплин (лингвистики, педагогики, психологии, физиологии речи), сохранив с лингвистикой тесные связи в вопросах соотношения системы и нормы, системной и структурной организации языка.

В 2013 г. в соответствии с решением Президиума Научного совета при правительстве Санкт-Петербурга по науке и высшей школе «Санкт-Петербургская научная школа онтолингвистики», возглавляемая С.Н. Цейтлин, включена в Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга.

Исследованиями в области онтолингвистики занимаются стабильные исследовательские коллективы:

а) С 1991 по 2011 в РГПУ им. А.И. Герцена существовала кафедра детской речи под руководством С.Н. Цейтлин. С 2011 г. в связи с реструктуризацией, осуществляемой в

РГПУ им. А.И.Герцена, кафедра прекратила свое автономное существование. Все сотрудники кафедры (проф. С.Н. Цейтлин, проф. Г.Р. Доброва, доц. М.Б. Елисеева, доц. Т.А. Круглякова, доц. М.А. Еливанова, доц. Т.В. Кузьмина) вошли в состав вновь созданной кафедры языкового и литературного образования ребёнка и продолжают исследования в области онтолингвистики и преподавания соответствующих учебных курсов на дошкольном и начальном отделениях Института детства, на психолого-педагогическом и филологическом факультетах и факультете коррекционной педагогики.

б) Лаборатория детской речи, располагающая Фондом данных детской речи, осуществляет работу над проектами: «Конструирование грамматики в процессе освоения русского языка как родного и неродного (иностранного)» в рамках аналитической ведомственной программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (рук. – С.Н. Цейтлин) и «Развитие и взаимовлияние различных компонентов языковой способности ребёнка раннего возраста» (рук. – М.Б. Елисеева).

в) сотрудники отдела теории грамматики ИЛИ РАН принимают участие в ряде проектов («Механизмы усвоения русского языка и становление коммуникативной компетенции на ранних этапах развития ребёнка» (рук. М.Д. Воейкова), а также в организации и проведении ежегодной международной конференции «проблемы онтолингвистики».

Следует отметить весомую грантовую поддержку, оказываемую исследователям детской речи различными научными фондами: РФФИ (М.Д. Воейкова), РГНФ (С.Н. Цейтлин, М.Б. Елисеева), РФФИ (М.Б. Елисеева).

Показателями динамичного развития направления являются также:

- наличие зарегистрированного патента (База данных МАККАРТ-РУС, свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620489 от 10.04.2013; рук. С.Н. Цейтлин, М.Б.Елисеева и Е.А. Вершинина (Институт физиологии РАН); Нормативы речевого развития детей от 8 до 36 месяцев: русская версия).
- большое количество защищённых диссертаций;
- очень высокая публикационная активность (Цейтлин 200 — 614 — 8; Воейкова 10 — 37 — 1; Елисеева 51 — 37 — 3; Казаковская 10 — 34 2).
- наличие международных связей.

Отражая основные все эволюционные черты современной лингвистики — экспансионизм, антропоцентризм и функционализм и экспланаторность — данное направление фундаментальных научных исследований является одним из наиболее развитых и перспективных.

Проблемы: слабая материальная база (не соответствующая современным представлениям об инновационном научном пространстве).

СЕМАНТИКА

Основные научные школы, занимающиеся проблемами семантики: Москва (ИРЯ РАН); МГУ (Л.О. Чернейко); ВГУ (И.А. Стернин, З.Д. Попова); Екатеринбург (Л.А. Бабенко).

Московская семантическая школа интегрального описания языка и системной лексикографии Ю.Д. Апресяна (объединяет исследователей из ИРЯ РАН и МГУ) основана на следующих основных принципах: – принцип *интегральности* лингвистических описаний: лексикографическое описание данного языка должно быть возможно более полно согласовано с его грамматическим описанием по типам лингвистической информации и по формальным языкам ее представления; – принцип *системности*: словарь языка распадается на большое число пересекающихся лексикографических типов – классов лексем с очень похожими или совпадающими свойствами (семантическими, морфологическими, синтаксическими, сочетаемостными, просодическими и другими). Такие свойства должны единообразно описываться в словарных статьях соответствующих лексем, но с учетом возможных отклонений от прототипа, если они обнаружатся в поведении конкретной описываемой лексемы: «лексикографический портрет» имеет приоритет перед лексикографическим типом; – ориентация на отражение «наивной», или *языковой картины мира*, т.е. способов концептуализации действительности, которые лежат в основе системы содержательных единиц данного языка, прежде всего лексических единиц и синтаксических конструкций.

Основные проекты:

Новый объяснительный словарь синонимов русского языка; Языковая картина мира и системная лексикография (коллективная монография); Активный словарь русского языка (1 том — 2013); Словарь бытовой терминологии.

Проблемы: в Санкт-Петербурге фундаментальные исследования по данной проблематике не проводятся; уровень развития и тематики исследований в сравнении с российским и мировым недостаточно высок.

АВТОРСКАЯ ЛЕКСИКОГРАФИЯ

Основное направление авторского словаростроения последнего десятилетия — составление типологически и параметрически разных словарей языка русских писателей. Наиболее значимые академические проекты: Словарь языка Достоевского, Словарь Шолохова (завершен в 2005 г.), Словаря языка Ломоносова; Словарь языка русской

поэзии XX века (с 2001 г.). География проектов: Москва, Красноярск (язык В.П. Астафьева) Смоленск (А.Т. Твардовский), Чита (Е.Е. Куренной), Саратов (Георгий Иванов), Вологда (Василий Белов). Примеры проектов: Фролова Ю.В. Материалы к словарю устойчивых образных сочетаний в произведениях В.П. Астафьева. Красноярск, 2004; Черашняя Д.И. Частотный словарь лирики О. Мандельштама: субъектная дифференциация словоформ. Ижевск, 2003; Шаповалов Б.С. Частотный словарь послевоенной лирики А.Т. Твардовского. Смоленск, 1999; Нангина А.В. Словарь языка забайкальского писателя Е.Е. Куренного. Чита, 2006.

Другое направление связано с привлечением российскими лексикографами к словарному описанию произведений зарубежных писателей, к примеру: Фадеева О.М. Афоризмы Эриха Марии Ремарка: Опыт сопоставительного словаря немецко-русских вариантов. Магадан, 2000. Логош О., Петров В. Словарь «Маятника Фуко» Умберто Эко. СПб, 2002.

Еще одно направление в отечественной авторской лексикографии образуют исследования по другим национальным авторским лексикографиям. Это, например, труды О.М. Карповой и ее учеников по англоязычной, в первую очередь, шекспировской, лексикографии. Последняя книга, представляющая данное направление, – Карпова О.М., Коробейникова О.В. Словари языка писателей и цитат в английской лексикографии. М., 2007.

На базе Отдела корпусной лингвистики и лингвистической поэтики ИРЯ РАН действует постоянный семинар «теория и практика авторской лексикографии» под руководством Л.Л. Шестаковой. На заседаниях семинара обсуждаются проблемы теоретических принципов создания словарей языка писателей, образцов лексикографического отражения авторских идиостилей, особенностей создания электронных авторских словарей, возможностей использования в практике авторской лексикографии данных Национального корпуса русского языка и подкорпуса поэтического языка, — идей и проектов новых словарных предприятий и др.

АВТОРСКАЯ ЛЕКСИКОГРАФИЯ, занимающая особое место в словарной науке, успешно развивается в Санкт-Петербурге: с каждым годом увеличивается состав авторов, творчество которых интерпретируется с помощью лексикографических методов.

Главный проект — издание «Трехязычного словаря языка М.В. Ломоносова» (см. Раздел «Историческая лексикография»).

В Межкафедральном словарном кабинете им. Б.А. Ларина (СПбГУ) ведется работа по двум научным темам.

Первое направление — «Словарь языка писателя и теория художественной речи». Это направление развивает ларинскую концепцию писательской лексикографии и идеи учёного в области изучения художественной речи. В настоящее время в кабинете ведется работа по созданию Частотного словаря к роману М. Горького «Жизнь Клима Самгина»; «Словаря автобиографической трилогии М. Горького» и «Идеологического словаря трилогии М. Горького «Жизнь Клима Самгина» (рук. – Д.М. Поцепня).

Осуществлено переиздание книги «Лексика и фразеология "Моления" Даниила Заточника». Подготовка к переизданию: проф. А. С. Герд, доц. С. Св. Волков. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007. - 236 с.

Второе направление — двуязычная писательская лексикография. Действующие проекты: «Словарь поэзии Н. Вапцарова» (рук. Г.В. Крылова); «Словарь М. Пуймановой» (рук. Г.А. Лилич, Т.Е. Аникина); «Словарь И. Андрича "Мост над Дриной"» (рук. О.И. Трофимкина).

Постоянно действующей проблемной группы по авторской лексикографии в РГПУ им. А.И. Герцена нет, научно-исследовательская работа ведется силами энтузиастов (К.П. Сидоренко).

Грантовая поддержка ученых в ИЛИ РАН высокая, в СПбГУ и РГПУ им. А.И. Герцена нет текущих проектов по направлению, поддержанных грантами.

Публикационная активность ряда руководителей и основных исполнителей проектов очень высока, в течение последних 10 лет подготовлен значительный корпус научных статей широкой тематики, в которых разбираются вопросы теории, методологии в сфере авторской лексикографии, в том числе — в связи с отдельными проектами. Данные РИНЦ: Мокиенко В.М. 62 публикации, 2447 цитирований, ИИ 7; Сидоренко К.П. 52 публикации, 97 цитирований, ИИ 5; Волков С.С. 6 — 66 — 1; Пурицкая Е.В. 4 — 0 — 0.

Проблемы: низкая грантовая поддержка проектов в СПбГУ и РГПУ им. А.И. Герцена. В целом — ограниченный круг последователей.

ИЛИ РАН и СПбГУ — признанные в России и в мире центры СРАВНИТЕЛЬНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ЯЗЫКОЗНАНИЯ И АРЕАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Индоевропеистика, имеющая давние научно-методические традиции, является одним из основных направлений учебной и научной работы на кафедре общего языкознания СПбГУ. В начале XX века здесь работали И.А. Бодуэн де Куртенэ, С.К. Булич, в советское время традиции петербургской индоевропеистики были продолжены И.М. Тронским и А.В. Десницкой.

Индоевропейское сравнительное языкознание является неотъемлемым компонентом образования классиков и русистов, германистов и балканистов, специалистов по балтийским языкам и по многим языкам Ближнего и Среднего Востока.

Данное направление реализуется при помощи объединенных усилий университетских преподавателей и академических ученых: к работе на кафедре привлечены видные лингвисты – сотрудники ИЛИ РАН.

В ИЛИ РАН ежегодно проводится конференция «Индоевропейское языкознание и классическая филология (чтения, посвященные памяти профессора Иосифа Моисеевича Тронского)». В июне 2014 года состоялась XVIII конференция. Традиционно материалы чтений выходят в виде сборников, значение которых в научном мире оценивается очень высоко.

Публикационная активность ученых, представляющих данное научное направление в Санкт-Петербурге, очень высока; в области компаративистики работает большое количество молодых ученых, что позволяет надеяться на продолжение сложившихся научно-педагогических традиций.

Проблемой является недостаточная представленность «классических» языков — латыни и древнегреческого — в учебных планах петербургских гуманитарных вузов. Так, например, на филологическом факультете Герценовского университета не прижилась традиция преподавания латыни и древнегреческого (предметы были включены в вариативную часть учебного плана «Древние языки» наряду со старославянским); излишний прагматизм в образовании привел к полному исчезновению этих предметов из учебного плана — как и курса «Общее языкознание» («Теория языка» из программы 4-го курса бакалавриата).

ТЕРМИНОЛОГИЯ И ЯЗЫКИ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ

Данное направление не представлено в Санкт-Петербурге как целостная структура (активно развивается: Москва (ИРЯ РАН), Пермь, Тюмень). Отдельные исследования ведутся во всех научных центрах, но научных коллективов и проблемных групп нет. Анализ научных отчетов, текущих проектов РГНФ и РФФИ, сведений РИНЦ и материалов наиболее значимых конференций последних лет выявил следующие данные о тематике научно-исследовательской и практической терминологической работы в Санкт-Петербурге:

Беляева Л.Н. (РГПУ) Принципы моделирования терминологий различных предметных областей; автор — постоянный участник Международного симпозиума «Терминология и знание» (ИРЯ РАН, Москва).

Герд А.С. Введение в изучение языков для специальных целей: Учеб. пособие. – СПб: СПбГУ, 2007. – 60 с. (2-е изд., доп. и перераб. – СПб: СПбГУ, РИО. Филологический факультет, 2011. – 60 с.).

Куликова И.С., Салмина Д.В. (РГПУ) Введение в металингвистику. СПб, 2000 (готовится переиздание).

Блинова О.В. (СПбГУ) Руководство проектом «Электронный терминологический словарь понятийной области «Миноритарные языки».

Публикационная активность большинства авторов высокая (Беляева 58 — 66 — 2; Блинова О.В. 4 — 1 — 1; Куликова 34 — 45 — 2; Салмина 33 — 52 — 2.

Проблемы: направление не сформировано, нет научного коллектива, занимающегося научно-исследовательской деятельностью в области терминологии и решающего задачи разработки терминологических баз данных, научного описания терминологий, а также научной экспертизы терминологических словарей и баз данных.

Одной из актуальных задач современной русистики является создание научной истории русской лексикографии. В этом плане представляется перспективным направление «ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ ЛЕКСИКОГРАФИИ».

В серии работ В.Д. Черняк и В.А. Козырева (РГПУ им. А.И. Герцена) проанализированы традиции русской лексикографии, рассмотрены основные направления словарного дела в России, охарактеризованы аспекты описания русского слова в словарях различных типов. В конце 2014 года вышел объемный труд (библиография словарных изданий 2700 позиций) «Русская лексикография: век нынешний и век минувший» (уточнить название).

Этапы исторической эволюции русской лексикографии освещены в коллективной монографии под ред. Ф.П. Сорокалетова «История русской лексикографии» (1998, 2001). Избранные статьи, посвященные процессам становления словарного дела в России, объединены в книге Е.Э. Биржаковой «Русская лексикография XVIII века (2010).

Однако задача воссоздания и описания полной истории русской лексикографии по-прежнему является актуальной, и исследования в этом направлении представляются перспективными. Необходимо переиздание «Истории русской лексикографии».

Одним из «проблемных» направлений петербургской русистики является СИСТЕМНОЕ ОПИСАНИЕ ОРФОГРАФИИ И ПУНКТУАЦИИ. После ухода В.Ф. Ивановой, автора научных монографий и учебных пособий по орфографии, теоретические исследования в данной области в Санкт-Петербурге практически не ведутся. Исключение составляет вышедший в 1997 году справочник Н.В. Соловьева «Русское правописание»,

включавший словарь, комментарий и правила. Переиздан под названием «Орфографический словарь: Комментарий. Правила: Справочник» (90000 слов) – 3-е изд., испр. и доп. СПб., 2000. Издание представляет собой оригинальный новый тип орфографического пособия — справочник, где сообщается не только, как надо писать то или иное слово или оборот речи, но и почему именно так, а не иначе они пишутся.

В ИЛИ РАН работает Служба русского языка, с.н.с. И.Е. Кузнецова является членом Орфографической комиссии РАН.

Проблема: отсутствие теоретических работ; необходимость массового переиздания словаря Н.В. Соловьева.

Не вошло в отчет: современный русский язык (активные процессы — только у Богдановой-Бегларян); культура речи (методически в СПб очень хорошо, но мало теоретических работ); компаративистика; язык художественной литературы («затухающее» направление, перемещение активности в периферийные университеты), политическая лингвистика (центр — Екатеринбург, в СПб почти не представлено); лингвистическая экспертиза (Москва, Барнаул, Новосибирск).

Отдельное наблюдение: очень велика роль лидера научной школы и научного направления (!)

9.1.2 Документирование языков как практическая задача и теоретически значимое направление современной лингвистики

Нельзя сказать, что сегодня, наряду с достаточно ясно выраженным общественным интересом к сохранению культурного разнообразия на Земле, совсем не уделяется внимания языкам, на которых говорит человечество и которые являются неотъемлемой частью культурного наследия. Так, 2008 год даже был объявлен ЮНЕСКО Международным годом языков. Однако, что касается сохранения языкового разнообразия на Земле, то такое внимание может оказаться несколько запоздавшим. Хорошо известны предсказания лингвистов о том, что, если нынешние темпы исчезновения языков сохранятся, в ближайшие сто лет из существующих сегодня на Земле примерно 6900 языков от 60 до 90 процентов могут прекратить свое существование (см., напр.: Nettle & Romaine 2000). Среди тех групп населения, которые переходят на другой язык, подавляющее большинство составляют этнические (и языковые) меньшинства, которые в большей или меньшей степени оказываются обделены социальными и политическими правами. По самым приблизительным оценкам, число таких групп составляет от 5 до 8 тысяч. В это число входят все без исключения группы, определяемые как «коренное население». Они составляют всего лишь 4% населения Земли, однако число языков, на

которых говорят входящие в эту категорию люди достигает 60% всех языков мира (Nettle & Romaine 2000).

Как правило, «малые» языки, уступающие свое место «большим» языкам, не имеют сравнимой с ними письменной истории. Однако обывательский взгляд, согласно которому одни языки оказываются «богаче» других, а значит и более «развитыми», «цивилизованными» и т.п., в корне не верен. Еще в работах Ф. Боаса и Э. Сепира, этих, по выражению Д. Хаймса, "ориентированных на антропологию" (Hymes 1973: 67) исследователей было сформулировано положение о принципиальном равенстве всех языков как "инструментах познания в науках о человеке" (Сепир 1993 [1929]: 260). Сокращение числа таких инструментов – всегда трагическое следствие "политики исключения и доминирования" (Hymes 1973: 67). Хотя отдельные лингвисты заговорили о проблеме сокращения числа языков достаточно рано (см., напр.: Бодуэн 1963; Swadesh 1948), первый симпозиум по исчезающим языкам был организован лишь в 1991 году в рамках 65-й ежегодной конференции Американского лингвистического общества. Начиная с этого времени, число работ, посвященных проблеме языков, находящихся под угрозой исчезновения, неуклонно растет. Осознав вполне реальную опасность «проморгать исчезновение объекта исследования» (Krauss 1980), многие лингвисты, до того времени интересовавшиеся сугубо теоретическими аспектами языка, сосредоточили свои усилия на фиксации уходящей «языковой природы», в том числе на теоретическом осмыслении и разработке принципов фиксации материала, его обработки, систематизации, хранения и использования. Это направление современной лингвистики, получившее название «документирование языков», помимо очевидных причин (опасность физического исчезновения исследуемого объекта) своим бурным развитием обязано прогрессу компьютерных и мультимедийных технологий.

Если еще полвека назад, во времена относительного изобилия языкового материала, лингвист, интересовавшийся конкретным языковым явлением (например, залогом или согласовательными категориями глагола), мог позволить себе ограничиться соответствующими анкетами и не вдаваться глубоко не только в такую «далекую» область, как этнография народа, говорящего на языке, но даже не обращать большого внимания на другие языковые категории, не попадающие в сформулированную им сиюминутную задачу, то в настоящее время формы и методы полевой работы стали меняться.

Как это часто бывает, новые принципы восходят к существовавшим ранее, но прочно забытым положениям, в частности, к этнографической теории языка британского антрополога Бронислава Малиновского (1884–1942), суть которой сводится к двум

основным положениям: (1) понятие контекста ситуации, в которых происходит говорение; (2) взгляд на язык как на действие, как на форму социального поведения. Такой подход к языку позволял Малиновскому достигнуть той цели, которую он перед собой ставил и которую сам он формулировал так: "to grasp the native's point of view, his relations to life, to realize his vision of the world" (Argonauts of the Western Pacific 1922: 25). Малиновский был, пожалуй, одним из первых профессиональных антропологов, кто, помимо применения обычных, принятых в социальной антропологии методов, выучил язык изучаемого им народа настолько, что мог не только задавать простые вопросы и записывать ответы с помощью добровольных помощников (переводчиков), но также слушать и понимать повседневные разговоры и даже участвовать в них. Здесь следует отметить, что британская антропологическая школа всегда придавала большое значение использованию языка изучаемого народа при сборе антропологических данных. Например, в шестом издании *Notes and Queries on Anthropology* есть посвященная этому девятая глава и в ней. В частности, следующий пассаж, посвященный текстам на языке: «Запись текстов, имеющая огромное значение для получения лингвистического материала, позволяет получить также важную информацию о культурных фактах. Обширные тексты могут быть записаны под диктовку информанта, которого можно просить рассказать о каком-нибудь случае из его жизни или о каком-нибудь интересном ему занятии, любой рассказ, миф или событие из жизни семьи или сообщества. Информацию, получаемую из таких текстов можно расширить, задавая дополнительные вопросы; в этом случае тексты становятся источником ценных антропологических данных. Более того, следует записывать повседневные разговоры, детские разговоры, разговоры родственников, партнеров по работе и т.д. Если исследователь пока не слишком хорошо знает язык, ему следует сразу же получить перевод записанного текста» (р. 49–5).

И хотя лучшие из российских антропологов во все времена старались освоить язык изучаемого народа, а лучшие из лингвистов никогда не пренебрегали этнографическими сведениями, разделение между этнографической и лингвистической полевой работой в определенный исторический период стало очень заметным. Исследователи, работавшие по «разным ведомствам» часто даже не фиксировали информацию, которую они считали относящейся к «чужой» области науки. Особенно заметным стало это разделение, начиная с 60-х годов XX века (это, в частности, заметно и по архивам исследователей, которые поступают в распоряжение Института лингвистических исследований РАН в последнее время).

В последние годы возникло несколько международных программ, посвященных документированию исчезающих языков и диалектов. В основе этих программ – возврат к

принципам, которые мы попытались очертить выше. Так, задача Программы документирования исчезающих языков, существующей в Лондонском университете (Факультет восточных и африканских исследований, School of Oriental and African Studies) – способствовать развитию лингвистических исследований исчезающих языков и поддерживать документирование максимального числа этих языков ради сохранения культур и языков (циркулярное письмо SOAS от 2 августа 2002; см. www.eldp.soas.ac.uk). Одна из заявленных целей этого документирования – «создание банков лингвистических данных для лингвистики и социальных наук и, конечно, для коренного населения». Это документирование должно включать «не только описания формальной структуры языков, но и различных социально-культурных контекстов, в пределах которых эти языки функционируют» (там же).

Качество и разнообразие языковых данных, получаемых в процессе документирования, напрямую зависит от теоретических предпосылок и практических методов, применяемых исследователем. В качестве основы формирования корпуса материала рекомендуется использование мультимедийных средств (аудио и видео – Himmelmann 1998, Lehmann 2001, Wittenburg 2003). Использование видео записывающих устройств, ставшее неотъемлемой частью современной полевой работы, преследует несколько связанных между собой целей (Ashmore 2008): обеспечивается фиксация культурного и языкового события, видеозапись может быть использована как инструмент, помогающий позже сделать транскрипцию и провести (инструментальный) анализ, а также помогающий «разговорить» информанта, что совершенно необходимо также и при элиситации; кроме того, это ценный ресурс, применяемый при практическом изучении языка и сохранения культурного наследия, а также средство вовлечения языкового коллектива в процесс документирования.

Неотъемлемая часть работы по документированию – создание языковых корпусов. Полноценный корпус должны отличать прежде всего разнообразие и значительный объем (Woodbury 2003). Материал корпуса должен быть прозрачен и быть в хорошем состоянии, он должен быть собран с соблюдением этических норм полевой работы, а также должен обладать свойством «транспортабельности». В идеальном случае корпус не только должен отражать репрезентативные ситуации использования языка, но и включать нетипичные случаи его использования. Материал корпуса должен быть классифицирован в зависимости от того, какими методами получены те или иные данные, а также в зависимости от того, какого рода коммуникативные события они отражают – естественные ситуации, постановочные или элиситации (Himmelmann 1998). Кроме того, должны быть проведена классификация по источнику информации, по тематике (которая

должна быть достаточно широкой и включать как бытовые темы, так и темы из области традиционного знания (этноботаника, этнозоология, традиционные культурные практики, фольклор). Разнообразие грамматических структур обеспечивается, с одной стороны, тем, что записываются тексты разных жанров (от фольклорных текстов до бытовых разговоров), а с другой стороны, тем, что полевые сессии с информантами, направленные на элиситацию, также должны быть записаны на аудио- или видеоносители.

Данные, содержащиеся в корпусе, должны отвечать ряду условий, а именно содержать описание, сделанное с использованием стандартной терминологии, они должны быть записаны на стандартных носителях и в стандартных форматах, с тем чтобы все исследователи и члены языкового коллектива (в том числе, те, кому понадобится обратиться к ним в будущем), могли без труда извлекать нужную информацию. Данные должны быть представлены в несегментированном виде и быть снабжены легко читаемыми, синхронизированными транскрипциями, что обеспечит верифицируемость данных, а также позволит другим исследователям проверять уже сделанный анализ и представлять свои варианты анализа.

Важнейший аспект документирования – создание цифровых архивов (Nathan 2008). Форматы, обеспечивающие сохранность и возможность использования другими исследователями, обычно таковы: WAV (звук), BMP/TIFF/JPEG (изображения), MPEG (видео), TXT (тексты), text/PDF/postscript (документы), XML (структурированный текст), ASCII or Unicode (кодировка).

В тех случаях, когда языковой сдвиг (процесс исчезновения языка) зашел очень далеко и язык уже не используется в естественных условиях, может применяться метод Учитель–Ученик (Master–Apprentice – Hinton 2002).

Следует особо подчеркнуть, что появление и развитие документирования языков и диалектов как направления лингвистики исходно было связано с фиксацией исчезающих языков и диалектов, однако не ограничивается ими. Те языки, на которых говорят сотни тысяч и даже миллионы носителей и положение которых по этой причине кажется вполне благополучным, заслуживают всестороннего документирования ничуть не в меньшей степени, чем языки, на которых говорит десяток-другой пожилых людей. Социальные изменения, стремительно происходящие в современном мире, меняют не просто внешние атрибуты той или иной культуры, но и оказывает огромное влияние на языки, прежде всего на правила их использования. Это происходит прежде всего из-за быстро меняющейся языковой прагматики. Так, набор речевых актов и правила их использования в современном русском языке очень сильно отличаются от того, что имело место еще в последней четверти XX века. Изменились формулы приветствия и прощания, формы

обращения, гендерная и возрастная дистрибуция языковых форм, правила смены очереди в разговоре и т.д.

Как было показано выше, направление документирования языков и диалектов оформилось за последние полтора десятилетия в самостоятельную область лингвистики. Фиксация языкового материала, в особенности материала «малых языков», всегда была важной частью деятельности Института лингвистических исследований РАН. С конца 1940-х годов в Институте языкознания исследования начались под руководством акад. И.И. Мещанинова и продолжились силами его учеников и преемников. Эта работа интенсивно ведется на протяжении полувека и дала существенные результаты: были опубликованы тексты, подготовлены монографические описания и словари чукотского, корякского, керекского и ительменского, эскимосского и алеутского, кетского, нивхского и юкагирского, эвенского и эвенкийского, удэгейского и ороцкого, тувинского, ненецкого, энецкого, хантыйского и других языков коренных малочисленных народов Сибири и Севера. Изучались и тюркские языки Сибири, причем не только в дескриптивном, но и в сравнительно-историческом аспекте. С конца 1990-х годов, когда работа по документированию языков получила новый импульс и приобрела поистине всемирный характер, ИЛИ РАН активно включился в разработку этой относительно новой области. За последние годы в ИЛИ РАН накоплен уникальный опыт документирования языков и диалектов. К языкам народов Российской Федерации, которые традиционно изучались в институте, добавились языки ближнего и дальнего зарубежья, в том числе некоторые африканские языки и языки Южной Америки. При этом помимо чисто практической деятельности по сбору материала предпринимаются попытки создать теоретическое обоснование, разработать методологию документирования, а также представить теоретическое осмысление особенностей языкового материала в зависимости от методов и ситуаций записи.

9.1.3 Инновационные перспективы развития литературоведения в научных и научно-образовательных учреждениях Северо-Запада России (2014–2016 гг.)

В работе научного или научно-образовательного учреждения, связанного с изучением русской литературы, можно выделить следующие области деятельности, которые, как нам представляется, могут быть укреплены инновационными решениями: 1) исследовательская работа в области истории русской литературы, подготовка баз данных, словарей, библиографических указателей, энциклопедий, монографий, статей, и других научных продуктов литературоведческого профиля; 2) подготовка и издание академических собраний сочинений или отдельных произведений русских писателей; 3)

хранение, описание и изучение документов и рукописей, 4) учебно-образовательный процесс, 5) культурно-просветительная деятельность, популяризация гуманитарных ценностей, представленных произведениями русской классической литературы. Большее или меньшее значение каждой из этих сфер деятельности в практической работе учреждения определяется его предназначением: архив, библиотека, научно-исследовательский институт, факультет университета или научно-образовательный центр.

Основным содержанием работы литературоведческого НИИ является хранение, изучение и публикация артефактов и научных материалов, связанных с историей литературы. Продуктивность работы исследователя зависит от уровня оптимизации условий его труда и от применяемой методологии научной работы. Первое связано с доступом к источникам данных и с возможностями научной коммуникации, второе – с методами и условиями обработки информации и выработки конечного продукта. Быстрое развитие информационных технологий в последние десятилетия позволяет надеяться на возможность существенного улучшения методологии научного поиска, а также эффективности научного инструментария, условий доступа к данным и качества публикации результатов научной работы.

9.1.3.1 Новые формы научного продукта

Одно из важнейших направлений работы литературоведческого НИИ – создание академических собраний сочинений русских писателей. Например, в настоящее время в ИРЛИ готовятся издания сочинений А.С. Пушкина, И.А. Гончарова, Н.А. Некрасова, А.К. Толстого, Ф.М. Достоевского, И.С. Тургенева, А.П. Сумарокова, К.Н. Леонтьева, других классиков отечественной литературы. Параллельно, выпускаются в свет библиографические словари, литературные энциклопедии, сборники научных работ, монографии, статьи и обзоры, другая научная продукция, связанная с уточнением истории русской литературы и научной публикацией источников. С уверенностью можно сказать, что академические собрания сочинений русских классиков могут и должны выпускаться не только в бумажной, но и в электронной форме, обладающей значительными преимуществами в сравнении с традиционными изданиями. Бумажное издание, в силу своей специфики, образует нечто вроде коммуникационного тупика, так как не предполагает никаких изменений в своем тексте в связи с новыми открытиями в области изучения творчества данного писателя. Разумеется, могут появиться рецензии, делаться доклады на конференции, выходить статьи и монографии, они нарастают на научный продукт, в то время как он сам остается без изменений, со временем требуя переиздания. Интерактивное академическое ПСС может дополняться и изменяться научным

сообществом, обращаясь в вечный продукт, перманентно современный. Редакционная коллегия издания может отслеживать эти изменения в комментариях и составе издания, вносить в него открытия и новые материалы, они будут приниматься в основной контент при признании их актуальности и релевантности, с периодичностью, установленной редакционной коллегией издания; можно предположить, что такое обновление могло бы быть ежегодным или раз в два года; новая версия продукта получает номер, позволяющий упорядочить ссылки при цитировании. Это же касается и других публикаций академического типа или имеющих научный характер, например, словарей, библиографий, энциклопедий.

Плюсов у электронного научного продукта множество, вот некоторые из них. Если в бумажном ПСС комментарий ограничен из-за недостатка места, и это подчас заставляет редактора выкидывать ценную информацию, сокращая текст до предельных размеров книги или тома, то в гипертекстуальном пространстве интерактивного ПСС комментарий не будет ограничен ничем, кроме здравого смысла и научной целесообразности. Другая перспектива – существенное повышение эффективности научного аппарата издания: цитируемые словари, справочники, библиографические описания, и другие вспомогательные тексты, которые в комментариях обычно помечаются сокращенными обозначениями и индексами, могут текстуально участвовать в издании с помощью гиперссылки, что, во-первых, избавит научный продукт от утяжеляющих текст условных обозначений, смысл которых не всегда очевиден и требует добавочного обращения к соответствующим спискам, а во-вторых, от необходимости обращаться к другому книжному изданию, как правило, находящемуся либо в библиотеке, либо, как минимум, на книжной полке. Удобство работы с электронным изданием возрастает существенно, объем и качество научного материала, которым может оперировать исследователь, возрастает на порядки. Разработка концепции и практическое осуществление такого рода интерактивных академических собраний сочинений – насущное требование времени. В качестве первых шагов в данном направлении в Пушкинском Доме создаются электронная база данных «Русская агиография» и справочник «История русской литературы XIX века».

9.1.3.2 Новые формы научной работы исследователя

Убеждать в том, насколько ценна для научной работы компьютерная техника – ломиться в открытые ворота. Однако в реальности использование ее возможностей в научных и научно-образовательных учреждениях выглядит более чем скромно. Практически во всех областях работы НИИ – хранение, изучение, издание и

популяризация памятников русской словесности – существует множество задач, которые могут решаться более эффективно и с меньшими затратами с помощью автоматизированных компьютерных технологий. Современность требует, чтобы в научных учреждениях были кадры специалистов, совмещающих академическую подготовку в области истории литературы и навыки компьютерного программирования и профессиональной работы в среде интернета.

Например, необходимо систематическое применение средств лингво-компьютерного анализа текстов при установлении авторской принадлежности. В августе сего года сотрудница ИМЛИ Е.В. Антонова, выступая на научной конференции, сообщила, что обнаружила около 50 неизвестных текстов А.П. Платонова в газетах 1920-х гг. Однако объяснить принцип, на котором методологически основывается этот вывод, не смогла. Почему в изучении текстов русской литературы такого рода верификация проводилась в Норвегии (Университет Осло, проф. Геер Къетсаа), и не проводится у нас, объяснить невозможно. А ведь ситуация с неясностью в авторской атрибуции широко распространена, и такого рода задача – в высшей степени актуальная в источниковедении и текстологии.

В 1994 году под непосредственным руководством Д.С. Лихачева была разработана программа «Рукописное наследие», внедрение которой – наш долг не только по отношению к памяти великого ученого, но и по отношению к бесценному достоянию – рукописям А.С. Пушкина, Ф.М. Достоевского, И.С. Тургенева, А.И. Крылова и др. классиков русской и мировой литературы. Самое бережное хранение, которым, например, по праву гордится рукописный отдел ИРЛИ, не в состоянии остановить ход времени, разрушающего физические носители памятников – бумагу и чернила. Программа предусматривает сохранение документов в виде снимков, сделанных со сверхвысоким разрешением, с постоянным хранением на нескольких серверах, подключенных к системе систематической взаимной перезаписи, создающих механизм страхования от потери информации. После этого документы можно будет хранить в сейфовом хранении и в инертном газе, полностью избавив их от разрушительного перелистывания в читальном зале. В настоящее время в ИРЛИ проводится работа по подготовке научной программы «Электронный архив», расширение информационной системы КАИСА и оцифровка фонограммархива, что можно считать реальными шагами к осуществлению этой задачи.

Добавочным преимуществом в реализации программы можно назвать перспективу создания объединенных собраний личных документов писателей и исторических деятелей, архивы которых, в силу разных причин, оказались в разных архивохранилищах или даже разных городах и странах. Так, например, рукописи Ф.М. Достоевского

находятся в настоящее время в двух городах и трех архивах: РО ИРЛИ, РГАЛИ и НИОР РГБ, соединение этих материалов в одну цифровую базу данных могло бы принести неоценимую пользу отечественной и мировой науке, существенно облегчив доступ к этим материалам, до сих пор недостаточно изученным. Можно привести и другие подобного рода примеры, когда соединение в одно целое рукописей из разных собраний и коллекций окажется полезным делом, могущим серьезно продвинуть изучение данного автора: архив Вяч. Иванова, частями сохраняемый в научных учреждениях Петербурга и Рима. С целью сохранения прав архивохранилищ такого рода материалы могут быть эффективно защищены от копирования, либо ограничен доступ к ним; такого рода технологии уже существуют и будут неуклонно совершенствоваться. Разумеется, такого рода научные программы потребуют от научных учреждений новых форм планирования, корректировки штатного расписания, в силу необходимости в специалистах, обладающих компетенцией в области IT-технологий, и, одновременно, в области филологии, а также формирования отделов или групп, способных осуществлять такого рода деятельность.

Одним из конкретных требований такого рода является создание специализированной цифровой лаборатории, содержанием работы которой становится создание филологических цифровых продуктов, а также научные исследования, базирующиеся на новых возможностях, которые предоставляет компьютерная техника и наличие файлов рукописей, сделанных в высоком разрешении. Лаборатория такого рода может также целенаправленно заниматься датировкой документов, и писательских рукописей, хранящихся в РО ИРЛИ и других архивах страны. Для оснащения такой лаборатории, в первое время, можно использовать оборудование, кадры и методологию научной группы, созданной в ИРЛИ РАН и работающей в настоящее время по гранту РФФИ. Далее работа в этом направлении не обойдется без включения в эту работу, помимо уже апробированных средств спектрофотометрического анализа, профессионального спектрографа – в настоящее время уже созданы приборы, использование которых в этом направлении представляется очень перспективным.

9.1.3.3 Новые ресурсы в области поиске материалов для исследований

Объективным фактором, затрудняющим научный поиск, является недостаточная доступность материалов для исследования. И это при том, что сотрудники рукописных отделов, архивов и библиотек трудятся с большой интенсивностью и ответственностью. Все большую роль в этом процессе играет интернет, многие научные учреждения создают на своих сайтах собрания научных текстов, представляющих собой сканы в формате PDF, годные для использования в научной работе, есть и научные электронные библиотеки. С

другой стороны, исследователя, работающего над научной темой и обращающегося к ресурсам интернета, преследуют различные беды, из которых главные: 1) заведомая неполнота всех существующих сегодня научных библиотек, даже в случае, если они полностью отсканировали свои собрания (что пока наблюдается в редких случаях), 2) недостоверность или ошибочность информации, содержащейся во многих интернет-ресурсах литературоведческого характера, 3) отсутствие единого специализированного библиотечного портала, в пределах которого можно было бы получить большую часть необходимой информации в рамках темы «История русской литературы», что заставляет исследователя терять массу сил и времени на посещение сотен сайтов библиотек и архивных собраний.

Решение вопроса – в создании электронного портала «Русская литература», интернет-ресурса, который мог бы опираться на уже сделанные в этом направлении шаги (ФЭБ, e-library и др.), восполняя информационные лакуны за счет мобилизации книжных собраний и фондов научных институтов. Необходима разработка концепции такого научного портала, однако уже сейчас ясно, что в его контент должны входить книги в формате PDF с текстовым слоем, подготовленные на академическом уровне, все более или менее значительные художественные произведения, выпущенные в стране с начала книгопечатания до настоящего времени, а также исследования, справочники и энциклопедии по важнейшим литературоведческим темам.

Представляется, что портал должен располагать своим доменом, качественной поисковой системой, развитой рубрикацией, облегчающей поиск нужного текста или темы. После этого бумажные экземпляры книг можно будет перевести на архивное хранение, что приносит добавочную пользу в деле сохранения культурного достояния страны. В основе такого рода ресурса может лежать оцифрованная специализированная библиотека ИРЛИ, расширенная за счет книг БАН; на следующем этапе можно подключить РНБ, затем РГБ и другие книгохранилища; на этом пути необходимо будет преодолеть разногласия и узковедомственные интересы. В случае если юридические препятствия не дают возможности оцифровать современные произведения, можно сделать порог в виде срока давности в 50 лет с настоящего времени. Библиотека портала должна отличаться от уже существующих: несколькими альтернативными способами рубрикации (алфавитная, систематическая, хронологическая и др.), наличием аннотированных указателей, полнотой, которая может быть обеспечена, в крайнем случае, сноской на внешний ресурс; представляется, что такого рода научный портал по литературоведению – дело ближайшего будущего.

9.1.3.4 Тенденции в развитии теории литературы

Специфика фундаментальных исследований в области филологии такова, что оно, прямо или опосредованно, оказывается предметно связано с философией и целым рядом иных наук: психологией, лингвистикой, физикой (теорией времени-пространства), искусствоведением, культурологией, семиологией и др. В связи с этим возникает требование укрепления и развития ее методологии, не нарушающей научных принципов наук, связанных с ней междисциплинарными исследованиями, количество которых растет из года и год. Большое число исследований, игнорирующих специфику и различия научных традиций разных областей знания, заставляет серьезно отнестись к этому вопросу внимательно. Корневым концептом литературоведения является уникальность и незаменимость языка словесного искусства в системе языков культуры. В соответствии с этим возникает требование изучения функционирования разных языков и типов дискурсов эстетической коммуникации в системе функционирования культуры.

9.1.3.5 Возможности объединения научной и учебно-образовательной работы в НИИ РАН

В соответствии со своим внутренним устройством, предназначенным для решения иных задач, институты РАН, как правило, не обладают техническими и финансовыми возможностями для создания в их стенах полноценного учебного заведения. С другой стороны, передача бесценного опыта филологического исследования, сохранение научных традиций, требует создания такого механизма, который бы обеспечивал возобновление научных кадров без потерь, связанных с утратой преемственности. В этом направлении успешно работают вузы Северо-Запада, аспирантуры академических институтов, существуют также иные виды учебной деятельности – стажировки, летние школы и т.д. Кроме того, существует образовательный ресурс, который пользуется все возрастающей популярностью: дистанционное обучение. В мире существует немало интернет-курсов и интернет-университетов, работающих с высокой степенью эффективности, в этом отношении накоплен немалый опыт. Представляется, что это перспективное направление, которое, например, может предоставить путь решения проблемы организации учебных центров в институтах Академии наук.

Дистанционный учебный центр позволит организовать обучение в удаленном режиме, по полноценной вузовской программе: со сдачей зачетов и экзаменов вплоть до получения государственного диплома. Кроме того, в этом режиме будет возможно организовать обучение по программам дополнительного высшего образования, курсов

повышения квалификации, а также стажировок по специальным темам. К настоящему моменту существует несколько альтернативных компьютерных систем такого рода, приобретение которых может обойтись в несколько десятков тысяч рублей, и это на два порядка меньше расходов, связанных с созданием системы очного обучения.

9.1.3.6 Новые пути в научной коммуникации

Практически все ученые сегодня пользуются электронной почтой, обеспечивающей быстрый и корректный обмен научной информацией. Второй по важности способ научной коммуникации – интернет-конференция – внедряется в жизнь несколько медленнее, чем этого хотелось бы и чем это требует реальная жизнь. Научными учреждениями чаще проводятся видеотрансляции научных мероприятий или видеозапись с последующим ее расположением на сайте для свободного доступа желающих, в то время как собственно интернет-конференции в области литературоведения пока что явление довольно редкое. Это может показаться удивительным, так как для реализации такого типа научного мероприятия требуется довольно скромный набор технических средств: цифровая видеокамера, радиомикрофонная система, компьютер с картой видеозахвата и проводной интернет. Участники конференции, находясь в любом месте, где есть подключение к интернету, могут принять в ней участие, располагая компьютером с вебкамерой.

Преимуществ такого рода научного форума несколько. Главное из них: экономия времени и финансовых средств, связанных с отсутствием необходимости куда-то выезжать, проводить время в дороге и в гостинице. Помимо этого, следует отметить гибкую систему регламента, который легко настраивается (и перестраивается по ходу дела) для решения основной задачи: формирования заинтересованного научного диалога, направленного на решение конкретной задачи. Интернет-конференция может иметь неограниченное число участников, принимающих участие в диалоге (их количество определяет только модератор) и неограниченное число слушателей, число которых может быть на порядки больше вместимости любого актового зала. Следует заметить, что этот жанр научного общения, возраст которого уже почти четверть века, активно использует историческая наука; следует ожидать, что литературоведческие научные сообщества и научные учреждения будут проявлять к нему возрастающий интерес.

9.1.3.7 Общие выводы

С формальной стороны развитие литературоведения на Северо-Западе России будет идти в общемировом русле, в направлении постоянного усложнения своей информационной гиперструктуры, сформированной на электронных носителях разного

рода, с возможностью передачи и получения информации текстовой, а также в аудио- и видеоформате. С другой стороны, в программах типа «Электронный архив» или «Рукописное наследие» будет продолжаться развитие тренда по использованию новых технических средств в области архивного хранения, источниковедения, документоведения, текстологии; сохранение в виде файлов документов, рукописей и памятников словесности, зафиксированных на бумаге, обеспечит не только их физическую сохранность, но и зафиксирует в них такие слои информации, которые могут быть извлечены для научного исследования исключительно и только с помощью ИТ-технологий. Исходя из этого, можно прогнозировать существенное увеличение доли компьютерных технологий в текущей работе научных и научно-образовательных учреждений Северо-Запада, не только в роли офисного оборудования, но для создания принципиально новой информационной среды, новых методов научной работы, приводящих к созданию научной продукции нового формата.

В качестве перспективных новообразований в структуре научных учреждений, связанных с хранением и изучением литературных памятников, нам видятся ИТ-лаборатории, без которых уже трудно обходиться сегодня и будет невозможно обойтись завтра:

(1) Интернет-лаборатория, располагающая штатом сетевых администраторов и программистов, способных обслуживать нужды института в области хранения и изучения литературных текстов, а также многообразные форматы научных связей с помощью интернета (обслуживание сервера, интернет-конференций, курсов дистанционного обучения, научных форумов отделов и научных групп института, а также техническое обеспечение интерактивных академических собраний сочинений, и др.).

(2) ИТ-лаборатория, состоящая из двух отделов: 1) источниковедческого направления, задачей которого является создание и практическое использование компьютерных программ, направленных на обработку научной информации, проведения различных видов работ, связанных с базами данных и аналитических мероприятий, например, установлением авторской принадлежности того или иного текста, 2) отдела спектрографического анализа, деятельность которого может быть связана с работами для нужд рукописного отдела, в частности, установлением датировки текста с помощью сравнительно-спектрографического метода, разработанного в ИРЛИ в 2010 году в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Остаются актуальными и показывающими способность к саморазвитию традиционные направления деятельности научных и научно-образовательных учреждений: издания научных трудов и литературных памятников, хранение и

популяризация наследия русской классической литературы, обучение студентов и аспирантов, культурно-просветительская деятельность, с которой особое преимущество получают учреждения, обладающие значительными фондами хранения культурных сокровищ, например, ИРЛИ (Пушкинский Дом), располагающий рукописным отделом, библиотекой, древлехранилищем и старейшим в стране литературным музеем; следует ожидать, что выставочная работа, которая успешно шла в предшествующие годы, будет столь же успешно продолжаться и далее. С другой стороны, учебные заведения Северо-Запада, располагая штатами профессиональных преподавателей, имеют значительный потенциал в направлении лекторской работы, других видов популяризации научного знания. Стоит надеяться на то, что, учитывая высокую ценность для страны той области культуры, в которой подвизаются литературоведческие учреждения Северо-Запада, а также их значительный кадровый потенциал, эти направления получат дальнейшее успешное развитие; информационные технологии уже сейчас оказывают на развитие этой области знания в регионе благотворное влияние, которое в ближайшие годы будет только возрастать.

9.1.4 Классическое востоковедение на современном этапе: проблемы и перспективы

Традиция классического востоковедения, направления востоковедной науки, основанного на изучении оригинальных письменных памятников на восточных языках (главным образом на древних и средневековых), представляет собой большое преимущество российской академической науки. Предметом классического востоковедения является в первую очередь изучение традиционного общества Востока (до начала модернизации по западному образцу). Не каждое государство находило силы и возможности взрастить такое направление, поэтому сохранение и развитие его является не только нашей общей научной, но и стратегической государственной задачей.

Востоковедная наука в нашей стране, возникшая в тесной связи с практическими нуждами, развивалась с самого начала по двум направлениям – прикладному, связанному с организацией систематического преподавания, и академическому, связанному с созданием источниковой рукописной базы.

Востоковедение как научная дисциплина, направленная в первую очередь на изучение граничащих с Россией государств Азии, зародилось в нашей стране примерно на сто лет позже, чем в Европе. Это было связано прежде всего с тем, что Россия, лежащая между Востоком и Западом, в целом никогда не противопоставляла себя Азии, в

значительной степени впитывая традиции Востока и в менталитет народа, и в повседневную практику.

Миссионерское служение русской православной церкви, рука об руку с которой шло на начальном этапе своего формирования востоковедение, также в значительной степени отличалось по своим методам и приемам от деятельности западноевропейских церковных орденов на Востоке.

В итоге наряду с восточной политикой государства важным стимулом становления академического востоковедения в нашей стране стала потребность в использовании новейших достижений мировой науки.

По именному указу от 28 января 1724 г. Петра Великого была учреждена Российская Академия наук, в которую был приглашен специалист по классическим и восточным языкам Теофил-Зигфрид Байер. С его деятельности началась история классического востоковедения в России.

К началу 18 века в Европе оформилась восточная филология, которая опиралась на принципы, разработанные в ходе изучения европейской античности. Нам трудно удержаться от того, чтобы не привести здесь известное высказывание академика Н.А. Конрада, который дал емкий и точный комментарий этому процессу. «Научное востоковедение родилось как филология, и притом филология в своем исконном, историческом сложившемся смысле: как наука о письменных памятниках» (З и В, с. 1972).

Стремление создать в обновленной петровской России передовой европейский центр востоковедной науки нашло выражение в проектах Восточной академии Георга-Якоба Керра (1733) и позже Ориентальной академии М.В. Ломоносова (1759). Но организационно по ряду причин регламент создания в нашей стране специализированного востоковедного учреждения был реализован только в 1818 г. с организацией по инициативе С.С. Уварова Азиатского музея РАН. Хотя с самого начала своего существования Академия наук большое внимание уделяла созданию и расширению востоковедной источниковой базы как исследовательской основы востоковедения.

Формирование академических коллекций началось в России задолго до учреждения самой Академии наук. Интерес к памятникам прошлого, книгам и документам привел к появлению монастырских, церковных и княжеских древлехранилищ в России почти тысячу лет назад. Но при этом больших собраний книг на восточных языках в русских монастырях создано не было, и систематическое собирание и объединение восточных рукописей в коллекции относится не ранее чем к началу XVIII в.

Первые уставные документы РАН, начиная с 1724 г., признавали приумножение книжных фондов и коллекций натуральных, «куриозных» вещей важнейшим

направлением ее деятельности. РАН уделяла большое внимание пополнению своих коллекций, а также их хранению, каталогизации, описанию и обслуживанию. Собственно ради этой цели в январе 1759 г. было введено звание члена-корреспондента РАН («класс академических корреспондентов»). Звание это было почетным, присваивалось ученым и путешественникам, которые получали от АН ежегодное содержание. Главное предназначение членов-корреспондентов, в том числе и иностранных, состояло в том, чтобы сообщать Академии о достойных ее внимания коллекциях и содействовать их приобретению. Среди отечественных корреспондентов важную роль сыграл переводчик Иоган Иериг, приславший в АН «знатнейшее количество предметов из Китая, Тибета и Индии». Собранные им рукописи и ксилографы хранятся сейчас в ИВР (АМ-ЛОИВАН. С. 11).

Именно необходимость специализированной научной работы с коллекциями привела к созданию первых отраслевых учреждений РАН, из которых наиболее ранним по времени создания стал Азиатский музей.

Азиатский музей создавался как особый фонд, «музеум» для хранения восточных рукописей и монет. Это соответствовало задачам гуманитарной науки того времени, ориентированной в первую очередь на изучение «древностей», памятников прошлого.

Одним из поводов для создания АМ была покупка в 1819 и 1825 гг. более 700 уникальных арабграфичных рукописей от Жана-Луи Руссо, французского консула в Алеппо и родственника великого философа. Работа с этим собранием сразу же дала импульс развитию арабистики в Санкт-Петербурге и в России. Большую роль в этом деле сыграл первый директор Азиатского музея Христиан Данилович Френ (1782-1851). В дальнейшем каждое крупное приобретение АМ напрямую влияло в наше стране на развитие тех востоковедных дисциплин, которые представляли рукописи. Покупка АМ в 1836 и 1838 гг. коллекций любителя Китая и Тибета П.Л. Шиллинга фон Канштадта (1786-1837) содействовала развитию китаеведения, монголоведения и буддологии в России. СобираТЕЛЬские усилия М.И. Броссе (1802-1880) в середине XIX в. привели к прорыву в области грузиноведения и арменистики, созданию самого сильного в мире кавказоведения и уникального армяно-грузинского фонда.

В 1844 г. российское правительство вменило в обязанность всем консулам, служившим в Азии, покупать древние рукописи на восточных языках. И этот порядок неукоснительно соблюдался вплоть до 1914 г., до начала первой мировой войны.

В результате к середине XX в. на основе изучения собранных в Санкт-Петербурге рукописных коллекций возникли уникальные направления науки – дуньхуановедение, тангутика, уйгуроведение, тюркская руническая эпиграфика, курдоведение,

исламоведение, буддология, изучение Древнего Востока, коптология, древнеиранское языкознание, сабеистика, которые были представлены в нашей стране в основном санкт-петербургской классической школой востоковедения.

Изучение памятников восточной письменности значительно содействовало лучшему пониманию особенностей общественной жизни, истории, литературы, религии и культуры народов Азии. Усилиями поколений ученых к началу XXI в. было опубликовано большое число специальных работ, критических изданий текстов, систематических каталогов и библиографий. Значительно был облегчен доступ к рукописям крупнейших мировых собраний после публикации их значительной части факсимиле и в последнее 10-летие в электронном виде в сети Интернет.

При этом выдающиеся результаты классического востоковедения в нашей стране были достигнуты, скорее, не благодаря, а вопреки государственной стратегии в отношении востоковедения. Общий остаточный принцип, доминирующий в подходе к гуманитарной культуре и ее нуждам, конъюнктурные установки, нацеливавшие исследователей на преимущественное внимание к современности, репрессии 30-40-х годов, оборвавшие многие нити преемственности в науке – составили препятствия плодотворному развитию направления.

При этом и очевидные внутридисциплинарные особенности классического востоковедения за последние 50-60 лет не раз давали повод говорить о его кризисе. В 1990 г. в 4-ом номере академического журнала «Народы Азии и Африки» были опубликованы материалы круглого стола ведущих отечественных исследователей-востоковедов под общим названием «Судьба классического востоковедения». Главным выводом, прозвучавшим со страниц основного в ту пору отечественного востоковедного издания стали слова: «Нельзя дважды войти в одну и ту же реку. Классическое востоковедение есть факт прошлого». Столь категоричный вывод, по нашему мнению, требует значительной корректировки. Да, бесспорно, нельзя ставить вопрос об изменении самой сути классического востоковедения как такового. Основу его по-прежнему должна составлять текстология, т.е. комплексный историко-филологический подход к тексту. Но также бесспорным является и то, что новые условия начала XXI в. требуют выработки новой актуальной методологии для изучения письменных источников и пересмотра исследовательских задач в целом.

В настоящее время перспективы классического востоковедения во всем мире связаны с проблемами фундаментальной научной обработки большого количества уже доступного материала, а также с задачами введения в оборот неопубликованной части письменного наследия народов Востока. Эта актуальнейшая задача отвечает потребностям

мировой востоковедной науки и бесспорно содействует престижу отечественной школы классического востоковедения, опирающегося на обширные коллекции уникальных памятников культуры. Их огромное музейное значение говорит о том, что не разделить их с мировым исследовательским сообществом мы не имеем права. Это предоставляет широкое поле и возможность для разработки самых разнообразных конкретных исследовательских и издательских проектов в области классического востоковедения, в особенности в дисциплинах, являющихся «визитными карточками» отечественной востоковедной науки, как например, тангутика, дуньхуановедение, уйгуроведение и др. Результаты, достигнутые в отдельных специализированных областях востоковедения, делают возможным создание крупных обобщающих работ. Описания и каталоги, вышедшие в свет в XX в. в разных странах, отличавшиеся в свое время большой полнотой, сейчас требуют внесения исправлений и дополнений.

Тем не менее, предоставляя зарубежным исследователям материалы из наших коллекций, мы должны помнить и потребности нашей науки и готовить кадры именно в тех областях, для которых имеется обширная источниковая база. Например, около 95% имеющихся во всем мире материалов на тангутском языке и приблизительно 15-18 % материалов из Дуньхуана хранятся сейчас в Санкт-Петербурге. В наших собраниях представлено также множество уникальных текстов на древнеиранских, древнетюркском, маньчжурском языках, на санскрите и др., и в этих областях мы также должны обеспечить преемственность.

За последние полвека выдающиеся результаты исследований были получены в странах Азии с применением европейской методологии. Активно развиваются историко-текстологические и источниковедческие исследования в Японии, Китае, Турции и др. странах. Отечественная школа классического востоковедения, которая всегда пользовалась высоким авторитетом в мире, обязана поддерживать свой высокий уровень и органично интегрироваться в мировую науку. Собственно говоря, в этом и состоит главная задача классического востоковедения в нашей стране на современном этапе.

Помимо адекватной современному знанию текстологической обработки материала и введения в научный оборот памятников письменности, в задачи классического востоковедения входит более активная и своевременная интеграция в общевостоковедное знание, в изучение и решение наиболее актуальных проблем современности. На нынешнем этапе классическое востоковедение все более утрачивает «былую замкнутость и строгость очертаний» и в большей степени ориентируется на углубление знаний о процессах, формирующих современную действительность.

В настоящее время исследователи, чьи интересы лежат в области классического востоковедения, вносят значительный вклад в решение данной задачи.

В частности, в условиях усиления религиозного фактора в общественной идеологии все большее значение приобретает научное изучение истории и содержания мировых религий – христианства, ислама, буддизма.

За последние годы значительное развитие получило изучение христианского Востока, в особенности такая фундаментальная научная проблема как зарождение и развитие раннего христианства. Ее разработка невозможна без привлечения оригинальных текстов религиозно-философского содержания на самых разных древних языках – коптском, сирийском, эфиопском и др. В России, в ИВР РАН, который является ведущим в нашей стране центром в области классического востоковедения, проводятся исследования восточного христианства во всем многообразии его конфессий. Изучение христианского Востока представлено целым рядом направлений: сириологией, арабо-христианскими исследованиями и эфиопистикой.

Важные результаты исследования данной проблемы достигнуты в области коптологии. В последних исследованиях признанного лидера отечественной коптологии А.Л. Хосроева было выдвинуто и убедительно доказано в жесткой дискуссии с оппонентами положение о том, что к христианству относится не только церковная его ветвь, но и различные формы внецерковного христианства, такие как манихейство и гностицизм. Детально обоснованию тезиса о христианской природе манихейства, которое нередко рассматривается как самостоятельная религия откровения, возникшая преимущественно на основе зороастризма, посвящена специальная монография: *Хосроев А.Л. История манихейства (Prolegomena)*. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2007. 480 с., 35 п.л. С 2009 г. А.Л. Хосроев готовит работу о различных направлениях гностицизма, аргументировано показывая, почему их следует считать неотъемлемой частью раннего христианства. В современных условиях религиозной безграмотности нашего общества эти исследования о ранних конфессиях, сформировавших христианское учение, имеют большое значение для социальной консолидации.

Санкт-Петербургской школой классического исламоведения разработан также принципиально новый методологический подход к изучению ислама, в основе которого лежит тезис о догматическом, этническом и региональном равноправии, равноценности внутри исламского мира и признании регионального ислама как единственно объективной формы бытования этой религии.

Особое отношение к исламу в России исторически предопределили два фактора: внешний – непосредственное соседство со странами исламского мира и внутренний – значительная часть коренного населения России исповедует ислам. Этим определяется одна из актуальнейших задач отечественного исламоведения – научная информация об исламе как шаг на пути консолидации российского общества. За последние десятилетия представители ленинградско-петербургской школы проделали значительную работу по изучению ислама и предоставлению обществу научной и непредвзятой информации об истории этой религии, духовных ценностях и ориентирах ее последователей.

Направление *региональный ислам* представлено в России на базе ИВР РАН международным проектом *Ислам на территории бывшей Российской империи*. Энциклопедический словарь (руководитель, составитель словника и ответственный редактор: С.М. Прозоров), издан 5-й выпуск (предшествующие выпуски 1-4 были изданы соответственно в 1998, 1999, 2001, 2003 гг.).

Перспективным (особенно для нашей страны) является исследование проблем философии и простонародной культуры буддизма. В частности, разработки классического востоковедения в этой области приобретают особую актуальность применительно к научному пониманию современного этапа формирования этнической идентичности монгольских народов, в том числе входящих в состав Российского государства. В последние годы был разработан и успешно применяется новый подход к изучению воздействия традиционной культуры и обыденного сознания народа на этнокультурные, социальные и политические процессы в современной Центральной Азии.

Использование рукописного и ксилографического наследия монгольских народов, которым располагают российские собрания, позволяет определить наиболее перспективные направления исследований внутри- и межрегиональных религиозных и литературных связей монгольских народов, в частности – буддийского (индийского по происхождению) контекста монгольской культуры и специфики её проявления в традиционных для монголов культурных стереотипах.

Работы монголоведов ИВР РАН И.В. Кульганек и Н.С. Яхонтовой позволяют установить, в какой мере современный этап формирования монгольской этнической идентичности находит опору в традиционной культуре, имеющей многовековую историю и запечатленную в многочисленных памятниках письменности и фольклорных произведениях.

Еще одной актуальной проблемой, в решение которой должно вносить вклад классическое востоковедение, является вопрос самоидентификации тюркских народов на обширном пространстве Евразии. Новейшие процессы государствообразования на

постсоветском пространстве неразрывно связаны с обострённым вниманием к историческому прошлому этих народов, в том числе – древнейшим этапам этнической истории и этнической культуры, а также – с пересмотром отношения к проблемам российско-тюркских связей. В последние годы на основе дешифровки, прочтения и интерпретации древнетюркских памятников и близких им древнеиранских документов, главным образом из собрания ИВР РАН, был издан ряд работ обобщающего характера по этнокультурной истории Центральной Евразии (Средней и Центральной Азии).

В ряде публикаций С.Г. Кляшторного за истекшие 20 лет на основе изучения древнетюркских рунических памятников по-новому были интерпретированы не только политические и этнокультурные структуры Центральной Азии, но также проблемы происхождения, древней и средневековой истории кочевых народов Великой Степи, живших на огромных пространствах Евразии от бассейна Амура – на востоке и до Дуная – на западе.

Рассмотрение на широком историографическом фоне сложнейших проблем генетических связей древнетюркских и других народов с современными нациями было и остается одной из важнейших задач классического востоковедения.

Этой проблематикой далеко не исчерпываются перспективные направления классического востоковедения на современном этапе.

Подводя итог сказанному, хочется отметить, что актуальным содержанием современного этапа развития классического востоковедения является не изменение содержания понятия или изменение его границ, а его адаптация (способность применения) к современному социальному, историческому и философскому контексту.

Для России – евразийского государства, культура которого представляет замысловатый синтез славяно-европейских корней со многими разнородными элементами византийской, тюркско-арабской и монгольской культур, знание о Востоке, о его традиции было неотъемлемой составной частью собственной культуры. В многонациональной, поликонфессиональной России востоковедение было и остается одним из крупных общественно-значимых факторов.

9.1.5 Экспериментальное исследование языка и мышления в XXI веке: традиции и возможности

Развитие фундаментальных научных исследований является одной из актуальных задач, стоящих перед Россией в XXI веке. На этом пути важно не только ориентироваться на мировые достижения и направления, но и не потерять важнейший национальный потенциал – научные школы, являющиеся плодотворно проявившей себя основой

отечественной традиции. Санкт-Петербург как место зарождения и формирования российской науки даёт тому множество блестящих примеров, и задача СПбНЦ РАН – сохранить их.

9.1.5.1 Фундаментальная наука и реализация стратегических приоритетов РФ

Дискуссии по поводу тенденций в организации науки в России достигли за последние месяцы высокого накала. Нет сомнений в том, что государство должно определять важные направления, которые оно считает нужным развивать и финансировать. Это требует серьёзной и постоянной работы по мониторингу состояния дел в России и в мире. Сейчас стало видно, что анализ состояния научных исследований в стране не очень эффективен, в чём виноваты и сами научные организации: фактически во всех институтах, независимо от их формального статуса, совершенно не налажена система информирования общества (пресс-релизов) о результатах работы, нет ясного и понятного не только специалисту изложения своих достижений и открытий. Такая глухая и герметичная позиция давно устарела: достаточно посмотреть на сайты крупных зарубежных научных центров, чтобы увидеть, что они очень динамичны и рассчитаны на разную аудиторию. Государственные научные учреждения – как входящие в РАН, так и университеты – обязаны информировать власть и общество о своей работе – как через свои сайты, так и через научно популярные телепередачи и издания. Помимо всего прочего, это повысит авторитет и статус самой науки в глазах общества, которое имеет право знать, на что расходуется бюджет.

9.1.5.2 Организационная структура фундаментальной науки

Идея переориентировать науку с академической системы на университетскую не кажется мне плодотворной в её нынешней версии. Сама идея хороша, но продуктивность научной работы сотрудников, для которых это является единственным видом деятельности – как в исследовательских институтах – не может быть никаким образом сопоставлена с работой преподавателей с большой педагогической нагрузкой, которая требует огромной отдачи не только во время занятий, но и при подготовке к ним, формировании учебных программ и планов, руководстве студентами и аспирантами и т.д. Конечно, ничего нет важнее воспитания научной смены, и тут с университетами конкурировать трудно, но необходимо разработать систему, при которой активно работающие в науке профессора и доценты будут иметь существенное снижение преподавательской нагрузки. Это очевидно, и такую политику ведут все крупные университеты мира.

9.1.5.3 Роль государственных академий наук в выборе перспективных направлений фундаментальных исследований

Именно РАН, Советы по науке при Президенте РФ и МОН должны определять, какие из направлений являются приоритетными для государства в данный период времени и в некоторой перспективе. Эта стратегическая задача очевидна и очень важна. Такие решения должны приниматься на основании глубокого и прозрачного анализа ситуации в разных областях российской науки в сопоставлении с мировыми лидерами в каждой области. Из этого не следует, что фундаментальная наука должна стать ассоциированной только со стратегическими задачами. Как минимум потому, что открытия, как известно, никогда не планировались и часто делались спонтанно и внезапно. Более того, их авторы в подавляющем большинстве случаев сами не представляли себе следствий и прикладной пользы от своих сугубо теоретических находок. Изучение истории научных открытий и их дальнейшей пёстрой судьбы само является очень полезной исследовательской работой и может подсказать выбор стратегий координации научной жизни. Из этого следует, что поисковая работа, не привязанная к конкретным внешним планам, а определяемая самими учёными, должна поддерживаться и финансироваться, что никак не ущемляет выбор стратегических приоритетов руководителей страны. Основной задачей Академии наук должна быть координация и проведение фундаментальных исследований, и они не должны делиться на перспективные и неперспективные. Необходимо спокойно относиться к отрицательным результатам: если оценка компетентных экспертов гласит, что некто является грамотным и сильным исследователем, он должен сам выбирать себе тему работы. Что касается перспективных исследований, на которые надо направить большие силы и средства, этим должно заниматься МОН по аналогии с существовавшим ранее ГКНТ: лаборатории, разрабатывающие фундаментальные проблемы, получают госзаказы, формируются временные коллективы, которые иногда становятся не временными (пример знаменитой лаборатории №2 Курчатовского института).

Чрезвычайно – в том числе и стратегически – важным является серьёзная поддержка гуманитарной науки: люди, работающие в музеях, архивах, библиотеках, преподающие гуманитарные предметы в школах и ВУЗах, сохраняют нашу цивилизационную память, они воспитывают мировоззрение, формируют людей, ответственных за сохранение прошлого и возможность передачи его опыта будущему. От этого зависит существование жизни на Земле! Люди – не биологические объекты, и они должны формироваться, понимая это. Гуманитарное знание – не «десерт», а жизненная

необходимость, т.к. в формировании ноосферы участвуют не только технологии, но и те, кто их внедряет. Неразвитая личность – опасна.

9.1.5.4 Когнитивные исследования в комплексе гуманитарных, биомедицинских и информационных наук и технологий⁶

Почему исследование языка, сознания и обеспечивающих их мозговых механизмов занимает такое важное место в науке XXI века? Потому что мы познаём мир так, как это может наш мозг, мир для нас таков, каким мы способны его воспринять, классифицировать и описать, и от понимания функций мозга зависит наше положение в мире и даже наша цивилизация. Наша зависимость от мозга больше, чем мы привыкли думать. *«Нет субъекта без объекта, как нет объекта без субъекта»*, как провидчески, задолго до открытий квантовой механики, сформулировал наш великий соотечественник А.А. Ухтомский. А ещё раньше и задолго до того, как экспериментальная наука получила методы регистрации мозговой активности во время галлюцинаций, показывающие сходство биоэлектрической активности при обработке реальных сенсорных сигналов и псевдо-сигналов, ошибочно генерируемых мозгом при галлюцинациях, гениальный И.М. Сеченов писал: *«Нет никакой разницы в процессах, обеспечивающих в мозгу реальные события, их последствия или воспоминания о них»*.

Главным препятствием на пути изучения языка и особенно сознания остаётся сама неопределённость понимания того, что мы таковыми считаем (а значит, что мы будем искать при исследовании высших функций с помощью мозгового картирования или обсуждать свойства всё более мощных систем искусственного интеллекта). Разброс трактовок сознания огромен – от осознания и рефлексии до противопоставления сознания подсознательным и бессознательным процессам.

Определить границы собственно антропологического списка лингвистических и языковых компетенций человека непросто. Это — одна из центральных методологических проблем для современных экспериментальных. Для формулирования гипотез и

⁶ Наточин Ю.В., Менишуткин В.В., Черниговская Т.В. Общие черты эволюции в гомеостатических и информационных системах // Журнал эволюц. биохим. и физиол. 1992, 28, 5, 623-637; Черниговская Т.В. От коммуникационных сигналов к языку и мышлению человека: эволюция или революция // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2008, 94, 9; Черниговская Т.В. Если зеркало будет смотреться в зеркало, что оно там увидит? (к вопросу об эволюции языка и сознания) // Когнитивные исследования: Сб. научных трудов. Вып. 4. М.: ИП РАН, 2010; Черниговская Т.В. Мозг и язык: врожденные модули или обучающаяся сеть? // МОЗГ. Фундаментальные и прикладные проблемы. По материалам сессии Общего собрания Российской академии наук 15-16 декабря 2009 / Под ред. акад. А.И. Григорьева. М.: Наука, 2010; Черниговская Т.В. Языки сознания: кто читает тексты нейронной сети? // Человек в мире знания. К юбилею акад. В.А. Лекторского. М.: Институт философии РАН, 2012; Черниговская Т.В. «Чеширская улыбка кота Шрёдингера: язык и сознание». Москва: ЯСК, 2013; Черниговская Т.В. «До опыта приобрели черты...»: Мозг человека и породивший его язык // Логос, № 1[97], 2014.

интерпретации результатов эмпирических исследований принципиально важно осознать, с одной стороны, общность принципов, которые эволюция использовала для организации сложного поведения, для индивидуального и социального обучения, для кодирования информации, сознания, а с другой, — специфичный для человека тип процедур, отличных не только от модели, выражаемой компьютерной метафорой, но и от возможностей иных биологических видов.

Принципиальная методологическая трудность «объективного» исследования языка и мышления в 1922 году, задолго до возникновения когнитивной науки, сформулирована С.Л.Франком: *«Обществоведение отличается той методологической особенностью, что в нем субъект знания в известном отношении совпадает с его объектом. Исследователь муравейника не есть сам участник муравейника, бактериолог принадлежит к другой группе явлений, чем изучаемый им мир микроорганизмов, обществовед же есть сам — сознательно или бессознательно — гражданин, т.е. участник изучаемого им общества»*. Это относится и к исследованию психики и языковой компетенции человека. *«Мы — не наблюдатели, а участники бытия. Наше поведение — труд... Природа наша делается»* — писал А.А. Ухтомский, опередивший своё время почти на век.

Современное исследование антропологической сущности человека мультидисциплинарно и является важнейшим условием сохранения нашей цивилизации и её достижений. М.К. Мамардашвили считал синтез разных научных подходов критически важным для понимания места человека в мире: *«Я считаю, что пересечение гуманитарных и естественнонаучных исследований сознания носит серьезный, не внешний характер, напоминающий переключку двух соседней. Но связь здесь пролегает в другом, более существенном измерении, а именно в измерении места сознания в космических процессах, во Вселенной...»*

Сейчас очевидно, что без учёта данных биологии и психологии невозможно решить многие кардинальные вопросы лингвистики, а без учёта антропологических знаний — правильно интерпретировать результаты естественнонаучных исследований. Без такого синтеза невозможно даже разработать корректный и интерпретируемый эксперимент. В этой связи следует обратиться к новой психофизиологии, которая формируется на основе положений А.А. Ухтомского о доминанте и хронотопе и концепций П.К. Анохина о функциональных системах. Эта наука радикально смещает ориентиры с бихевиористских схем XX века к когнитивистским века XXI. Идеи построения интегрального знания о человеке вполне могут определить научное и философское пространство наступившего столетия и помочь преодолеть неоправданное абстрагирование в понимании функций мозга как изолированных, разобщенных. Трудно,

например, представить себе серьёзное обсуждение психических процессов самого высокого ранга без учёта культурных контекстов, в которых эти процессы формировались.

Мысль о необходимости разграничения языка как системы и речи как конкретного пространственно-временного процесса осознавали такие крупнейшие отечественные гуманитарии как А.А. Потебня, И.А. Бодуэн де Куртенэ, А.М. Пешковский, Н.С. Трубецкой, М.М. Бахтин, Л.В. Щерба, Е. Д. Поливанова, Р.О. Якобсон, Н.Я. Марр, И.И. Мещанинов, И.Г. Франк-Каменецкий, О.М. Фрейденберг, С.Д. Кацнельсон, И.М. Стеблин-Каменский, труды которых явно недостаточно известны мировой науке.

Эволюция высших психических функций привела к обретению мозгом мощнейшей способности к вычислению, использованию рекурсивных правил и ментальных репрезентаций, что создало основу для мышления и человеческого языка. При обсуждении накопленных за полтора столетия знаний сталкиваются школы, противостоящие по схеме детерминизм/врожденность языка с одной стороны и модель научения – с другой. Nature vs. Nurture, и это является предметом экспериментальной проверки.

Психо- и нейролингвистические исследования несомненно имеют особый статус не только в рамках когнитивных и нейронаук, но и в гуманитарной части наук о языке и мышлении, так как дают возможность экспериментальными методами проверить не только естественно- научные парадигмы, но и положения самой лингвистики. В этой области знаний Россия традиционно занимает одну из лидирующих позиций в мире: развитию представлений о высших психических функциях человека посвящены основополагающие труды таких виднейших отечественных ученых как И.М. Сеченов, А.А. Ухтомский, И.П. Павлов, В.М. Бехтерев, Л.С. Выготский, П.К. Анохин, А.Н. Леонтьев, А.Р. Лурия, Н.П. Бехтерева.

Первостепенную ценность экспериментальные исследования языка и мышления имеют при изучении становления языка у детей с нормальным и патологическим речевым развитием (алалиями и генетическими аномалиями развития языка, с дислексией и дисграфией), при исследовании распада языковой системы и памяти у больных с афазиями и другими нарушениями мозга (болезнями Альцгеймера, Паркинсона, шизофренией, синдромом Уильямса, дефицитом внимания и т.д.), что выясняется, в частности, с помощью мозгового картирования и других высоко-технологичных методов.

Очень интересны кросс-лингвальные исследования сходных синдромов у людей, говорящих на языках разных типов, что даёт ценнейший материал как для нейронаук, так и для гуманитарных областей. Большой интерес представляют "сбои" в работе нейронной

сети при шизофрении, аутизме, в состоянии стресса; психические особенности савантов, сверх-способности особо-одарённых людей. Чрезвычайно интересны исследования различий в языках и культурах как проявлений типов ментальности и способе принятия решений, в том числе имеющих и генетические основания.

Для проведения таких работ используются и методы экспериментальной психологии, такие, например, как методики прайминга, принятия лексического решения, фиксации микро-движений глаз, парсинга и т.д.

Очень перспективное направление экспериментальных исследований в лингвистике, позволяющее проверить работоспособность компьютерной метафоры, — кросс-языковое сопоставление данных об усвоении первого языка детьми и о распаде языковой системы при различных патологиях мозга. Время, когда выводы о языковой способности человека как биологического вида делались на основании данных для одного или пары близкородственных языков, прошло. Сегодня наступил этап сбора информации с учётом языкового разнообразия, когда типологические факты и осторожно принимаемые универсалии сопоставляются с нейрофизиологическими, нейропсихологическими и даже генетическими сведениями.

Непротиворечивость выдвигаемых гипотез проверяется в нейролингвистических исследованиях, где по возможности, стремятся описать языковые и иные ментальные процессы в соответствии с релевантными мозговыми паттернами; такие работы проводятся, в частности, и нами совместно с Институтом мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН (проф. Св. Вc. Медведев) и с Институтом физиологии им. И.П. Павлова РАН (проф. Ю.Е.Шелепин). Современные исследования международного уровня ведутся на кафедре проблем конвергенции естественных и гуманитарных наук, на кафедре общего языкознания, на кафедре фонетики и в лаборатории когнитивных исследований Санкт-Петербургского государственного университета — у монолингвов и билингвов, у детей с нормальным и патологическим языковым развитием, у здоровых и больных с афазией и шизофренией, болезнью Альцгеймера; исследуются процедуры парсинга и разных видов референции, организация дискурса и процедуры вероятностного прогнозирования, организация ментального лексикона, переключения кодов и т.д.

Следует подчеркнуть, что фактическая конвергентность когнитивных исследований очевидна: совместная работа психологов, нейрофизиологов, лингвистов, математиков, генетиков является единственным возможным алгоритмом.

Изучение принципов и механизмов функционирования мозга человека – задача, требующая высокой технологической оснащённости. Полноценные и всеобъемлющие исследование должны осуществляться не только в условиях лаборатории, но и в клинике.

Для таких работ в идеале необходимы современные приборы: МРТ не менее 3Т с программным обеспечением для фМРТ, трактографии и др.; ПЭТ/КТ с мощной радиохимической лабораторией и циклотроном с энергией протонов не менее 18 Мэв; электроэнцефалографы и магнитоэнцефалографы с системой позиционирования электродов на 256 каналов; эхоэнцефалографы; инфракрасные оптические томографы; термоэнцефалографы; полиграфы, высокоточные приборы регистрации микро-движений глаз и т.д.

Важным разделом экспериментальных исследований является компьютерное моделирование речевосприятия и речепроизводства (автоматический синтез и анализ речи). Для таких разработок в России имеется серьёзная традиция как в области физиологии речи (прежде всего работы школы Л.А. Чистович в Колтушах), так и в области фонетики и биоакустики (в частности, школы Л.В. Бондарко, Л.А. Вербицкой и В.И. Галунова и их последователей). Эти исследования также требуют высокотехнологичного обеспечения: артикулографов и миниатюрных микрофонов, которыми можно записывать звук прямо с голосовых связок, электро-глоттографов, специальных комплексов, включающих назометры, измерители давления воздушного потока, определители высоты голоса, глоттографов и пр.

Всё это требует серьёзного финансирования, и конечно, должно работать не только на фундаментальные исследования, но и на клиническую медицину, как это принято во всём мире.

9.1.5.5 Петербургское направление в экспериментальной лингвистике

История психолингвистических исследований восходит к классическим работам замечательных лингвистов, которыми формировалась мысль о необходимости разграничения языка как системы и речи как конкретного пространственно-временного процесса. Это осознавали такие крупнейшие лингвисты, как В. Гумбольдт, Ф. де Соссюр, А.А. Потебня, И.А. Бодуэн де Куртенэ, А.М. Пешковский, Н.С. Трубецкой, М.М. Бахтин, Л.В. Щерба, Р.О. Якобсон.

Находившийся под значительным влиянием физиологических работ своего времени, в частности, И.М. Сеченова, и экспериментальной психологии В. Вундта И.А. Бодуэн де Куртене фактически заложил основы экспериментального изучения речи. Это во многом определило интересы петербургской лингвистики, в том числе, в дальнейшем и экспериментальной. В кратком очерке истории кафедры общего языкознания Л.В. Щерба писал: *«Появление на кафедре гениального ученого, отличавшегося смелостью и оригинальностью мысли, большого общественника, человека*

кристальной чистоты и вообще одного из самых передовых людей своего времени, сыграло решающую роль в судьбах лингвистики в стенах Санкт-Петербургского, а потом Ленинградского университета..... Он всегда старался открывать слушателям широкие научные перспективы, давая им возможность заглянуть в лабораторию своей научной мысли.» Это начало имело блестящее продолжение в экспериментальных работах школы Л.В. Щербы и его учеников – в лаборатории экспериментальной фонетики СПбГУ – М.И. Матусевич, Л.Р. Зиндера, Л.В. Бондарко, Л.А. Вербицкой, М.В. Гординой, А.С. Штерн и других.

Отдельное и очень яркое место занимают на петербургской психолингвистической карте работы С.Д. Каценельсона, изданные в 2001 году книгой «Категории языка и мышления».

Большую роль в развитии петербургской психолингвистики и формирования её как отдельного направления принадлежит Л.В. Сахарному и А.С. Штерн. На базе Санкт-Петербургского государственного университета ими был основан постоянно действующий городской психолингвистический семинар, теперь известный как «Петербургский семинар по когнитивным исследованиям» (<http://cognitivestudies.ru/seminar/>), в работе которого в качестве учёного секретаря с самого начала работала нынешний руководитель этой научной школы Т.В. Черниговская. Свои работы обсудили на этом семинаре десятки аспирантов, докторантов и известных учёных России и многих стран мира.

Одним из родоначальников петербургского направления в психолингвистике является В.М. Павлов, выступивший ещё в 1968 году со статьёй «Языковая способность человека как объект лингвистической науки».

Современные представления о проблеме системы и языковой нормы и её кодификации, диалектные и социолектные особенности устной речи, характерные черты литературного и просторечного языка и вопросы межъязыковой интерференции наиболее полно и современно отражены в многочисленных статьях и книгах Л.А. Вербицкой – крупного специалиста в области общего языкознания, в частности, фонетики и фонологии и орфоэпии.

Очень важное направление многие годы разрабатывалось К.А. Долининым, исследовавшим проблему речевых жанров и коммуникативных структур, стилистики и психолингвистических аспектов дискурса в целом.

Активную работу по моделированию процесса восприятия речи ведет научная группа из СПбГУ, возглавляемая В.Б. Касевичем. Основные результаты этой работы

изложены в книге 2003г, являющейся наиболее значимой монографией на данную тему после фундаментальной работы Л.А. Чистович и др., 1976 г.

В начале 60-х годов Л.А. Чистович и В.А. Кожевниковым в Институте физиологии им. И.П. Павлова РАН была создана лаборатория исследования речи – один из ведущих научных коллективов в этой области не только в нашей стране, но и в мире. Работами лаборатории был предложен новый подход к изучению слухо-речевых функций – рассмотрение поведения человека в процессе речевой коммуникации как работы сложной информационной системы. Были установлены закономерности динамики процесса речеобразования, сформулирована гипотеза последовательно-параллельной схемы артикуляторного программирования, выявлен механизм текущей обработки и накопления информации, предшествующий фонемному решению. Благодаря исследованиям слухового восприятия речи выявлены закономерности преобразования речевых сигналов в слуховой системе на периферическом и высших уровнях слуховой системы (Восприятие речи, 1976). С 1996 года коллективом проводились исследования процессов формирования коммуникативных функций у детей разного возраста в норме и при различных нарушениях слухоречевой системы.

В 70-80-х г.г. XX века исследования речевых процессов – восприятия, порождения и речеобразования в значительной степени были инициированы потребностями развития систем автоматического распознавания и синтеза речи. Один из ведущих коллективов, занимавшихся этими проблемами – лаборатория речи НИИ «Дальняя связь», руководимая В.И. Галуновым, развивала бионический подход к разработке этих систем. Это способствовало изучению механизмов и алгоритмов речевых процессов у человека. В результате исследований межполушарных различий в обработке речевых сигналов В.И. Галуновым, И.В. Королевой и Г.Г. Шургая была разработана модель восприятия речи, основанная на взаимодействии двух полушарий мозга, каждое из которых использует свой способ обработки: левое полушарие – сегментный, а правое – целостный, обеспечивая высокую помехоустойчивость и скорость обработки. В более поздних исследованиях «эффекта перцептивной реставрации отсутствующей фонемы» у взрослых и детей эта модель получила дальнейшее развитие с позиций интерактивной обработки речи. И.В. Королева продолжила исследования речи в Санкт-Петербургском НИИ уха, горла, носа и речи с использованием новой экспериментальной модели – слухоречевые и языковые процессы у глухих людей с кохлеарным имплантом – слуховым электродным протезом. КИ позволяет глухим людям воспринимать звучащую речь благодаря преобразованию звуковых сигналов в электрические импульсы, передаваемые системой электродов в слуховой нерв.

В 1991 году в РГПУ им. А.И. Герцена С.Н. Цейтлин была создана кафедра детской речи. Теоретической платформой проводимых исследований является предположение о том, что каждый ребенок самостоятельно и последовательно строит собственную языковую систему. Важное место в этих исследованиях занимает семинар, объединяющий исследователей, занимающихся лингвистическими, психологическими, педагогическими аспектами детской речи. Это направление успешно развивается М.Д. Воейковой в ИЛИ РАН.

Широкое внедрение компьютерных технологий обработки речевых сигналов в конце 90-х г.г. 20 века способствовало проведению Г.А. Куликовым и Н.Г. Андреевой в Санкт-Петербургском государственном университете системных исследований речевого развития детей раннего возраста с позиций акустического, перцептивного и психолингвистического анализа .

В.В. Оппель и В.К. Орфинская в 30-40-х гг. одними из первых начали исследования афазии и алалии с точки зрения особенностей лингвистических процессов и организации коррекционной работы при этих расстройствах речи. Огромную роль в развитии этой области знаний и практики работы с взрослыми и детьми, страдающими нарушениями языковых процессов, сыграла Н.Н. Трауготт – ученица и последовательница Л.А. Орбели и основатель научной школы. Из её лаборатории вышли такие известные учёные как Л.Я. Балонов, В.Л. Деглин, Я.А. Меерсон, Д.А. Кауфман, Л.И. Вассерман, С.А. Дорофеева, Т.В. Черниговская. Без этих учёных и теория, и практика нейролингвистических исследований была бы иной. Большая часть нейролингвистических исследований была выполнена с участием Т.В. Черниговской, которая и продолжила в дальнейшем развивать это направление.

Петербургские исследователи В.А. Ковшиков и А.Н. Корнев внесли значительный вклад в развитие представлений об особенностях психолингвистических процессов у детей с патологией речи, чтения и письма.

Особое место в нейролингвистической проблематике традиционно занимает изучение речевой продукции и восприятия у больных с афазией – нарушений устной и письменной формы языка, вызванных заболеваниями головного мозга. Многолетние исследования Н.Н. Трауготт, Я.А. Меерсона, Л.И. Вассермана, М.Г. Храковской, Г.М. Сумченко, С.А. Дорофеевой и их коллег внесли фундаментальный вклад в нейролингвистическую проблематику.

Многолетние исследования системной организации речевых функций в мозгу, проводимые А.Н. Шеповальниковым и М.Н. Цицерошиным с коллегами с помощью ЭЭГ-картирования свидетельствуют о чрезвычайной роли взаимосвязей между отделами,

особенно в онтогенезе, нарушение которого приводит к патологии внимания, алалии и дизартрии.

В настоящее время заметно усиливается тенденция к централизации ресурсов и организационному объединению. Это даёт основания формировать совместные междисциплинарные проекты в русле когнитивного направления, создает благоприятные условия для дальнейшего углубления партнерских взаимоотношений между различными ВУЗами Санкт-Петербурга и институтами РАН. Такое сотрудничество открывает возможности для создания необходимой социальной и технологической инфраструктуры и реализации крупных междисциплинарных проектов национального масштаба, которые позволили бы стратегически укрепить позиции на международной арене, а идеологически – вплотную подойти к решению фундаментальных проблем наиболее перспективных направлений современной когнитивной науки.

В заключении следует подчеркнуть, что результаты обозначенных направлений имеют не только серьёзное фундаментальное значение, но и практическую пользу для прикладных областей – для медицины, педагогики, психологии и образования, для развития новых систем искусственного интеллекта. Бесспорна антропологическая, мировоззренческая роль этой области знаний. Совершенно ясно и то, что для такой сложной области нужны не только содружества учёных разных профилей, но специалисты другого, много-дисциплинарного типа, и их нужно готовить в лучших университетах и на базе институтов РАН (пример тому – успешно функционирующие магистерские программы по психолингвистике и по когнитивным исследованиям в СПбГУ). Исследования в области экспериментального изучения речи и мышления, проводимые в Санкт-Петербурге, несомненно, находятся на мировом уровне, финансируются РФФИ, РФФИ, РГНФ, а также фондами СПбГУ и других организаций.

9.1.6 О перспективных направлениях научных исследований в области исторических наук на примере Санкт-Петербургского института истории Российской академии наук.

9.1.6.1 Анализ тенденций развития исторической науки в мире и России

Развитие современной отечественной и мировой исторической науки представляет процесс перманентного совершенствования теории и методологии исторического исследования, заключающегося в необходимости анализа современных научно-методологических проблем, определении новых подходов и взглядов на дальнейшие изменения теоретических и методологических основ исследования истории.

При этом необходимо принять во внимание ряд внешних и внутренних факторов, влияющих на развитие исторической науки. Важнейшее место среди них занимает переходное состояние современного российского общества, находящегося в стадии социально-экономической и политической трансформации. Это проявляется, прежде всего, в недоверии значительной части общества к прежним социальным, экономическим и политическим схемам. Широкое распространение получают тенденции превращения истории в элемент массовой медийной культуры, чему активно способствуют средства массовой информации. Повседневным явлением становится жанр исторической продукции, в котором выступления членов академического сообщества переплетены с беллетристическими интерпретациями важнейших общественно-политических событий и явлений прошлого и настоящего.

Современная историческая наука отличается от всех предшествующих также и тем, что развивается в новом информационном пространстве, заимствуя из него свои методы и опосредованно влияя на формирование самого информационного пространства.

Современные проблемы методологии исторического исследования проявляются в дискуссиях исследователей по ряду проблем, среди которых заметную роль играют развитие методики исторического исследования, историческая компаративистика, анализ генетических связей, герменевтика и интерпретационный анализ, применение математического моделирования в исторических исследованиях, связь темпоральности и событийности как показатель темпа исторического времени, проблемы теории исторического познания в рамках разных философских и исторических школ, ряд других, тесно связывающих отечественную и зарубежные исторические школы.

В современных условиях особую роль в исторической науке призваны сыграть создаваемые коллективами ученых банки и базы данных. Именно они становятся основой обобщающих научных публикаций и на их создание следует ориентировать молодых исследователей.

Еще одной тенденцией развития исторической науки в мире и России является освобождение от диктатуры прошлых школ, заключавшейся в навязывании обществу определенных идеологических императивов. На смену социальной антропологии, постмодернизму, гендерным подходам приходит глобальная история, характеризующаяся интересом к казуальности в истории, к микроистории в целом. В отечественной исторической науке сегодня просматриваются две расходящиеся линии. Первая настаивает на необходимости создания патриотической, сплывающей народ истории путем формирования национальной идентичности и самосознания индивида. Вторая настаивает на противоречивости и неоднозначности событий и фактов, провозглашает

необходимость плюралистических, деидеологизированных построений и концепций исключительно ради свободного выбора суверенной личности при отсутствии любого внешнего контроля и влияния. Обе эти линии представляются трудно совместимыми в современной исторической практике.

В современной исторической науке все большую значимость приобретает *источниковедческий анализ*. Именно в нем научное сообщество историков видит истинный ключ достоверности и профессионализма. Подобный анализ становится все более междисциплинарным, объединяя историков, философов, филологов, психологов, представителей других гуманитарных наук. Однако, развивая междисциплинарные подходы, следует не допускать размывания предмета истории и внедрения в него неприменимых социологических, политологических и других схем, упрощающих сложный феномен исторического исследования. Не прогноз будущего или объяснение настоящего, а прежде всего изучение прошлого с использованием всей совокупности доступных источников должно оставаться предметом истории как науки.

Важное место в современных зарубежных и отечественных исторических школах занимает активное исследование истории повседневности, позволяющей во всей совокупности оценить человека – личность, а не массы, классы и партии. Все больше внимания уделяется исследованию проблем исторической памяти в жизни поколений, народов, государств.

Значимым внутренним фактором развития отечественной исторической науки является эрозия прежних теоретико-методологических ориентиров: от гносеологического монизма в его упрощенной марксистской трактовке произошел переход к плюрализму. Важно, чтобы этот процесс не доходил до крайних форм отрицания теории прогресса, поступательного движения отечественной и мировой истории вообще, до релятивистских оценок исторического развития.

9.1.6.2 Характеризуя наиболее перспективные направления развития современной исторической науки, выделим ряд из них:

- По-прежнему востребованными являются *междисциплинарные исследования* при сохранении исторических методов исследования как ведущих (основных) в сочетании с использованием методов исследования других наук как вспомогательных. Подобный подход позволяет не растворить историю среди других наук, сохранить ее в качестве стержня исследования. В то же время междисциплинарность позволяет значительно расширить возможности исследования, формулируя новые задачи или анализируя явление под иным углом зрения.

- Актуально *всемерное развитие источниковедения* в виде дальнейшего комплексного изучения исторического источника с применением методов других наук и использованием новых технических возможностей, завершающееся публикацией исторических источников в различных формах, как традиционно бумажной, так и электронной. Это позволит, с одной стороны, глубже и всесторонне изучить исторический источник, с другой – облегчит доступ исследователям к базам данных, без которых невозможно полноценное историческое исследование.

- Востребованной остается *разработка фундаментальных научных проблем*, включающих в себя исследования по сохранению и изучению культурного, археологического и научного наследия; теории исторического процесса и обобщению опыта социальных трансформаций и общественного потенциала истории; изучению эволюции человека, общества и цивилизаций, включая историю повседневности, традиций и инноваций в общественном развитии, анализ взаимоотношений власти и общества; исследование государственного развития России и ее места в мировом историческом и культурном процессе. В современных условиях крайне актуальной становится фундаментальная разработка истории международных отношений и международных кризисов. Несомненный интерес представляет исследование политики и межкультурных коммуникаций в новой и новейшей истории России и мира.

9.1.6.3 Изучение научно-технического потенциала Санкт-Петербурга в области гуманитарных наук

Изучение научно-технического потенциала Санкт-Петербурга с точки зрения тенденций и перспектив развития фундаментальных исследований в области гуманитарных наук свидетельствует, что значительным потенциалом для решения поставленных задач располагает Санкт-Петербургский институт истории Российской академии наук.

Институт является одним из ведущих в своей области учреждений города и всего Северо-Западного региона. Он аккумулирует потенциал как давно признанных научных школ, так и всемирно известного Научно-исторического архива СПбИИ РАН. Институт предоставляет возможности интегрирования с другими научными учреждениями как гуманитарного (СПб государственный университет, Институт лингвистических исследований РАН, Институт русской литературы (Пушкинский дом) РАН и др.), так и технического профиля (ИТМО - практика реставрации и виртуальной репрезентации фондов и коллекций НИА СПбИИ РАН). В практику Института прочно вошли связи с зарубежными историческими центрами (Американская ассоциация историков-славистов,

Дом наук о человеке в Париже, Институтом изучения истории текстов в Париже, Институтом мировой культуры в Хельсинки и другими).

Реализуемые Институтом основные направления научных исследований осуществляются в рамках нескольких научных направлений и школ. Устойчивым интересом и общественной востребованностью пользуются реализуемые в рамках признанных научных школ академика РАН Б.В. Ананьича, чл.-корр. РАН Р.Ш. Ганелина и чл.-корр. РАН И.П. Медведева программы, основными направлениями которых являются изучение истории государственной власти, общества и реформ в России XVIII – XX вв.; экономической истории России XIX – XX вв.; вспомогательных исторических дисциплин и источниковедения по материалам и фондам Научно-исторического архива СПбИИ РАН. На базе Института действуют Северо-Западное отделение Научного совета РАН по комплексной проблеме «История социальных реформ, движений и революций», Археографическая комиссия РАН, Византийская группа и другие.

Высококвалифицированные кадры научных сотрудников Института (33 доктора исторических наук и 31 кандидат исторических наук) позволяют проводить комплексные междисциплинарные исследования по всем направлениям, указанным в п.2 настоящего отчета. Только за 2013-2014 гг. сотрудники Института подготовили более 50 монографических исследований и публикаций документов и материалов, опубликовали более 400 научных статей в исторической периодике России и за рубежом.

Решению поставленных задач способствует уникальность Института, соединяющего в своей структуре и направлениях специалистов, работающих над изучением проблем как по отечественной, так и по всеобщей истории.

Для Института генеральным направлением является изучение подлинных свидетельств прошлого с пристальным вниманием к методике источниковедческих исследований. Прежде всего, это относится к изучению истории документов в Европе и России с компаративистских позиций, выработкой типологии документа и письма в целом. Институт является базой для практических занятий по палеографии и дипломатике студентов исторических факультетов Санкт-Петербурга, Москвы и Петрозаводска.

Институт располагает сильной школой источниковедения, базирующейся на достижениях петербургской исторической школы. Наличие в структуре Института Научно-исторического архива, обладающего уникальными документами V–XX веков позволяет СПбИИ РАН занимать лидирующее положение в стране и мире по ряду направлений исторических исследований, таким как генезис и развитие Российского государства в IX–XVIII вв.; общество и государство в России конца XVIII–XX вв.; политическое самосознание общественных классов и групп как фактор революционного

процесса в России конца XIX–начала XX вв.; взаимоотношение государства с социальными и конфессиональными группами на примере исторического опыта России XX в.; ряду других проблем. В Институте проводятся комплексные исследования по истории античности, медиевистике, новой и новейшей всемирной истории. Результаты проделанной работы находят отражение в публикациях ежегодников «Вспомогательные исторические дисциплины» и «Новгородский исторический сборник», издаваемого четыре раза в год «Петербургского исторического журнала».

Традиции петербургской исторической школы, бережно сохраняемые научным коллективом Института, передаются его аспирантам и докторантам. Численность обучающихся в аспирантуре и докторантуре СПбИИ РАН превышает в 2014 г. 30 человек.

9.2 Развитие фундаментальных научных исследований в области общественных наук

9.2.1 Развитие фундаментальных социологических исследований

9.2.1.1 Актуальность

Развитие фундаментальных научных исследований в области общественных наук является одной из актуальных задач, стоящих перед современной наукой России. Острота исследований вызвана трансформацией российского общества, его социальной структуры, изменением мотивации, приоритетов, целей и поведения российского общества, его социальной структуры, изменением мотивации, приоритетов, целей и поведения. На трансформационные процессы наложились демографический кризис, приведший к выраженному старению населения, сексуальная революция, активизация внешней миграции и появление больших групп людей иной культуры, активизация деятельности РПЦ и пр. В связи с этим происходит процесс становления новой социальной структуры, новых социальных отношений между группами, индивидами, затрагивающими семью и межпоколенные связи. Устранение «железного занавеса» и развитие международных контактов также вызвало много новых проблем перед российской социологической наукой. В перестроечный период в связи с повышением гласности и доступностью информации обо всех негативных процессах приоритет в исследованиях отдавался социологии девиантного поведения и социального контроля. Активно развивались прикладные исследования по проституции, наркомании, потреблению алкоголя, преступности групповой и индивидуальной, насилию в семье, педофилии, торговле людьми (особенно в целях принуждения к проституции). В основном эти исследования носили прикладной характер, благодаря им была создана определенная фактологическая база, выявлены некие сложившиеся стереотипы поведения, их особенности по регионам, группам, была накоплена определенная значимая база для последующего осмысления, обобщения и перехода к фундаментальным работам. По мере стабилизации государственных институтов, укрепления правовой базы, характер потребностей в социологических исследованиях несколько изменяется, большую значимость приобретают исследования в области отношения общества и власти, а также все направления, связанные с индивидуальным и групповым здоровьем, траекториями жизни, включающими закономерности как демографических событий, так и социальных (начало сексуальной жизни, формирование брака, рождение первого ребенка, образование,

карьерный рост, здоровье). Принято считать, что трансформация сказалась на экономическом росте, при этом упускается из виду, что трансформационные процессы повлияли на человека, его поведение, его отношения с близкими, его доверие к государству. Существенно поднялся престиж социологии науки и инноваций.

В настоящее время все большее значение приобретают глубинные процессы, которые являются, с одной стороны, шлейфом трансформации, а с другой стороны, это новые социальные процессы, связанные с новой реальностью, новыми практиками, которые вошли в повседневность, новыми возможностями.

Вызовы, возникшие перед социологической наукой, обострили проблемы метанауки и заставили ученых сконцентрировать свое внимание на осмыслении природы социологического знания, роли социологии, структуре современной социологической науки, соотношении методов, прежде всего, количественных и качественных.

9.2.1.2 Анализ тенденций развития фундаментальных социологических исследований в мире и России

Российская социология – сравнительно молодая наука, возникшая в конце XIX – начале XX вв., прекратившая свое развитие в советских условиях со второй половины 1920-х гг. до начала 1960-х гг., когда началось бурное возрождение отечественной социологии. Все периоды возникновения, становления и возрождения российской социологии теснейшим образом связаны с Санкт-Петербургом (Ленинградом). Именно здесь были осмыслены социальные катаклизмы, роль революции и эволюции, социальные проблемы преступности. Здесь зародилась социология социальной структуры и социология науки и инноватики. Вхождение российской социологии в мировое научное пространство выявило ряд общих проблем, присущих всей социологической науке. В России они проявились даже в большей степени в связи с попыткой ангажировать социологию и включить ее в инструменты достижения сиюминутных политических или организационных задач. Это не могло не привести к некоторой утрате доверия к социологу со стороны как заказчиков, так и потребителей социологической информации (Троцук, 2008: 5).

К однозначно негативным тенденциям в развитии мировой социологической науки следует отнести:

- снижение объяснительного потенциала социологического знания, несмотря на его экспоненциальный рост. Происходит скорее не систематизация и интерпретация полученных данных, а их каталогизация;
- все возрастающую фрагментацию и автономизацию социологических

концепций: эти процессы носят искусственный характер, что, тем не менее, не мешает приверженцам различных подходов упрекать друг друга в доктринерстве и догматизме;

- упреки и обвинения социологов уже не в конструктивизме (подмене реального порядка вещей и множественности жизненных миров социологическими конструктами) как таковом или в обслуживании с его помощью властных кругов и различных групп интересов (хотя зачастую очевидна политизация и идеологизация социологической деятельности, утрата ею академической нейтральности и даже видимости научной объективности), а в том, что в современном одновременно глобализирующемся и локализирующемся мире социология не предлагает объяснений и интерпретаций все новых возникающих альтернатив повседневного существования людей.

Все перечисленные проблемные зоны в развитии мировой социологии свойственны и отечественной науке, но для нее характерны и свои собственные «парадоксы»:

- Реальная свобода в выборе исследовательских тематик не приводит к глубоким, долгосрочным и широкомасштабным исследованиям (прежде всего потому, что в таковых не заинтересован ни рынок, ни власть – политический и экономический прагматизм делает ненужными как долгосрочные аналитические исследования, так и социальные теории). Широкомасштабные исследования подменяются локальными проектами, которые выполняются на так называемых выборках, построенных по принципу «снежного кома», соответственно, не претендующих на репрезентативность и т.д. В определенной степени этот процесс отражает перевод эмпирической базы российской социологии с одной стороны, на выборки Росстата, число и тематика которых существенно расширились, а с другой - на общенациональные социологические выборки, доступ к которым открыт (Российский мониторинг экономики и здоровья (RLMS-HSE), обследование «Родители и дети, мужчины и женщины в семье и обществе»). Каждый серьезный исследователь, имеющий свою концепцию и свой инструментарий, мечтает о формировании своей выборки, выполнении всех тех требований, которые соответствуют его концепциям, но выборочные обследования – это дорогостоящие проекты, которые вряд ли будут реализовываться в ближайшее время. Необходима адаптация ставящихся целей и задач к имеющимся возможностям, умение и определенные навыки использования имеющихся баз.

- В середине 1990-х гг. начался бурный рост подготовки социологов в образовательных учреждениях, прежде всего, в университетах. Как известно, российские университеты в большинстве своем – это сменившие табличку советские высшие учебные

заведения, в которых не сложились университетские традиции, отсутствовали научные школы, в том числе и по социологии. Часто кафедра исторического материализма переименовывалась в кафедру социологии, и все это приводило к низкому качеству подготовки социологов при экстенсивном росте контингента. В результате, несмотря на рост выпуска дипломированных социологов, рынок заинтересован, прежде всего, в маркетологах, рекламщиках, интервьюерах и т.д. Как отмечает И.В. Троцук, эти профессии не требуют столь длительного обучения, как подготовка социолога. С другой стороны, и сама подготовка социолога не соответствует мировым стандартам. Некоторым сдвигом стало открытие мега-проектов, в реализацию которых включены как западные ученые, так и российские исследователи. Например, Лаборатория сравнительных социальных исследований под руководством Р. Инглхарта (НИУ ВШЭ).

- Все еще недостаточны базовые институциональные условия развития социологической науки: отсутствуют крупные научные коллективы, не происходит нормальное воспроизводство научных кадров, нет внутреннего социального заказа на социологические исследования, нет развитых научных контактов социологических организаций внутри страны и за рубежом и т.д.. По сути, российская социология все еще не включена в мировую социологическую науку. Имеются лишь фрагменты участия российских ученых в разработке таких проблем как социальное неравенство, бедность, коррупция, ксенофобия. В значительной степени препятствием остается языковой барьер, отсутствие публикаций российских ученых в ведущих западных профессиональных журналах.

- Мы солидарны с И.В. Троцук в отношении того, что в предметной области отечественной социологии уже много лет акцентируется транзитологическая проблематика (переходного состояния российского общества), тогда как актуальные проблемы разложения советской институциональной системы, монолитизации общественного мнения, милитаризма, сопротивления реформам, пассивной адаптации населения к административному произволу и т.д. замалчиваются (остаются вне сферы исследовательских интересов). (Троцук, 2008: 7)

Конечно, нет смысла впадать в пессимизм в свете столь проблемного состояния нынешней социологической науки – нужно просто понимать, что происходит в той предметной области, в которой вы хотите стать специалистом, в широком социокультурном контексте. Понимание окружающего «мира» позволяет лучше ориентироваться в нем.

На сложившемся фоне возник в российском социологическом сообществе так называемый «спор о методах» – дискуссия о соотношении количественного и качественного подходов. Название «спор о методах» принадлежит дискуссии экономистов, состоявшейся в конце XIX в. между «австрийской» и «молодой исторической» школами. Различные методы, которые использовала каждая из них вылилась в научную дискуссию, насыщенную обоюдными обвинениями, которую впоследствии назвали «спором о методах» (нем. *Methodenstreit*). В социологии термин «дискуссия о методе» был введен еще в середине XIX в. В. Дильтеем (1833–1911) для характеристики различия естественных (субъект-объектные отношения ученого и изучаемых им феноменов) и социальных (аналогичные отношения имеют субъект-субъектный характер) исследований. Иными словами, Дильтеем была поставлена под сомнение общая методологическая позиция позитивизма, которая гласит: социальные явления с аналитической точки зрения ничем не отличаются от природных, поэтому цель социологии – выработка системы обобщенных теоретических положений на основе использования в изучении социума методов естественнонаучного познания. В итоге на сегодняшний день в социологии сложилось два методологических направления – количественный и качественный. Если представить их схематично, то в рамках первого подхода логика социологического исследования строится на дедуцировании гипотез исследования из некоторой социологической теории и их последующей эмпирической проверке; в рамках второго подхода допускается вхождение в «поле» без каких-либо предварительных предположений об особенностях изучаемого социального феномена. Отчасти качественный подход возник как реакция на неспособность громоздких теоретических построений отразить реальное многообразие повседневной жизни, предугадать черты особых жизненных миров (моментом рождения качественного подхода считают 1930-е гг. – период расцвета Чикагской социологической школы).

В западной социологии дискуссия о качественных и количественных методах состоялась во второй половине XX в., т.е. примерно 40 лет назад, и прошла следующие этапы:

- ренессанс качественных методов (в США в 1960-е гг., в 1970-х гг. – в Европе);
- развитие методологических дискуссий о качественных исследованиях (с определенными различиями в немецкой и англосаксонской традициях: в немецкоговорящих странах в 1970-х гг. они прошли фазу фундаментальных и теоретических и с тех пор ориентированы на методологическую консолидацию и широкое

использование качественных методов в эмпирических исследованиях);

- последующее обращение к дискуссии о качественных методах и методологической определенности в 1980-90-х гг. в англо-американской науке (обсуждение проблем кризиса репрезентации и легитимации этнографических описаний);
- повсеместное развитие качественного подхода в 1990-е гг. (опубликован первый учебник по качественным методам под редакцией Н. Денцина и И. Линкольн, создание журнала «Качественное исследование»; появление специализированных журналов по качественным методам в различных дисциплинарных полях и по конкретным тактикам качественного исследования);
- обсуждение возможностей методологического совмещения качественных и количественных техник и процедур, критериев оценки «качества» качественного исследования (понятий надежности, валидности данных, экспликации результатов и т.д.), вариантов презентации отчета по итогам качественного исследования; разработки программного обеспечения для анализа качественных данных.

В российской социологии, как уже отмечалось, дискуссия такого рода произошла со значительным временным лагом: развитие качественных методов произошло в нашей стране лишь в 1990-х гг., благодаря широкому использованию ряда методик в маркетинговых и политических исследованиях (вследствие, прежде всего, распространения метода фокус-групп). Программой статьей явилась работа Г.С. Батыгина и И.Ф. Девятко «Миф о качественной социологии» (Батыгин, Девятко, 1994), в которой дилемма «качественное–количественное» характеризуется как практически неприлично модный, но сомнительный и даже бессмысленный сюжет, имеющий мало отношения к собственно науке, но говорящий о ее критическом состоянии (непонимании собственного предмета и серьезных аномалиях в институциональной структуре).

В последующие годы накал дискуссии о соотношении качественного и количественного подходов в отечественной социологии спал. Об этом, в частности, как отмечает И.В. Троцук, свидетельствует публикация «Спор о методах», появившаяся на страницах журнала «Неприкосновенный запас» в 2004 г. (Троцук, 2008: 10). Здесь российские условные «качественники» и «количественники» высказали разумные доводы в пользу тех или иных оценок современного социологического знания, акцентируя его методологическую основу. Это был очень своевременный диалог, поскольку на результаты социологических исследований сегодня ссылаются практически во всех средствах массовой информации, но речь идет практически всегда лишь о статистических по своей природе обследованиях общественного мнения; качественные методы до сих пор

зачастую воспринимаются как ненаучный подход; методические дискуссии нередко ведутся скорее не по поводу собственно методов, а о степенях исследовательской рефлексии и готовности критически осмыслить собственный категориальный аппарат.

Таким образом, на сегодняшний день среди социологов в принципе достигнуто понимание о непродуктивности дискуссий об эпистемологическом приоритете «качественного» или «количественного» подхода в связи с осознанием того, что у каждого из них есть своя сфера применения, но только в совокупности они позволяют существовать науке социологии, обеспечивая совмещение в ней микро- и макроуровней изучения социального. Помехой квалифицированного совмещения обоих подходов в рамках одного проекта может стать только ограниченность финансовых, временных и кадровых ресурсов.

9.2.1.3 Научный потенциал Санкт-Петербурга

Научный потенциал Санкт-Петербурга в области социологии определяется выделением ряда научно-образовательных центров и взаимодействия между ними (факультеты социологии СПбГУ, НИУ ВШЭ, СПбГЭУ, ЕУ СПб, ЦНСИ и, наконец, Социологический институт РАН). Каждая из перечисленных организаций имеет свои традиции, свои приоритетные направления, но можно определить некоторые характерные черты, свойственные каждой из этих структур, и оценить эффективность сетевого взаимодействия. СИ РАН, на наш взгляд, выполняет интегрирующую функцию. Европейский университет в СПб готовит социологов с новым видением профессиональных задач, находящихся на международном уровне профессиональной подготовки. Однако, имеются уязвимые стороны: великолепная теоретическая, но крайне слабая эмпирическая подготовка, отсутствие аналитических навыков. Академическая наука, благодаря своей фундаментальности, обеспечивает сбалансированность новаций и традиций с широтой научного поиска.

Как и мировая социология, петербургская социология пытается осмыслить пути развития и структуру социологического знания. Исследование когнитивной структуры социологической науки было проведено кандидатом социологических наук, ст.н.с. СИ РАН Б.Е. Винером. Базируясь на анализе примерно 2000 статей из ведущих американских социологических журналов за 5 лет (2001–2006), выполнена кластеризация статей. При этом принималось во внимание не только содержание статей, но и CV авторов. Проведенное Б.Е. Винером исследование позволило сделать вывод о частичном соответствии когнитивной структуры институциональной структуре социологии. В данном случае под институциональной структурой понимались социологические

специальности или секции, существующие в американской социологической ассоциации. Множество выделенных кластеров (75) отражает полифоничность американской социологии, ее «незацикленность» на каких-то магистральных темах. Плюрализация, видимо, является имманентным условием развития науки. Множественность тем, множественность школ, научных центров, обеспечивает формирование научного дискурса, взаимодействие научных школ, включая зарубежные, и воспроизводство научных кадров. В этом же русле ведутся исследования М.Соколова и М.Сафоновой.

Конфигурации и динамика российской модерности: смыслы, практики, институты

Развиваясь как часть глобализирующегося мирового сообщества, российское общество испытывает социальные вызовы и качественные изменения социума, сущностной характеристикой которых становится усложняющаяся социокультурная динамика, а также трансформация социальной структуры. Важно оценить характер и направления этого воздействия и степень его соответствия как мировым глобальным процессам, так и особенностям России. Значимую роль играют структуры, определяющие направленность процесса формирования социальных конфигураций. Тенденции изменения социальной структуры отражаются на характере и механизмах социального воспроизводства отдельных социальных групп в таких сферах как профессиональная деятельность, потребление и социокультурные институты, которые и обеспечивают возможности выборов формирования повседневных практик индивидов и отдельных семей. Трансформируются и внутрисемейные отношения, изменяется тип семьи и брачного поведения. Представители социальных групп используют различные практики в меняющейся социально-экономической реальности, испытывая воздействие всех макроэкономических и макросоциальных процессов (глобализации, информатизации, интенсификации техногенеза, культурной плюрализации и т.д.), и оказываются в результате своего выбора в разных социальных позициях, совокупность которых создает постоянно меняющуюся социальную структуру. Существует связь между принципами организации иерархий и характеристиками социальных систем. Важнейшим иерархическим структурно-институциональным образованием является властная элита. Тип элит(ы), выступая производным от уровня социальной организации, одновременно кардинальным образом влияет на возможности социетальной трансформации. В связи с этим, определение основных характеристик властных групп является необходимым условием для анализа возможных вариантов развития.

Проблема становления постсоветского социального порядка, конфигурации взаимосвязанных социальных институтов, структур и практик, приобретения им

устойчивости как определенной социальной целостности не была специальной исследовательской задачей, хотя отдельные элементы были предметом научного анализа. В частности, механизмы и (суб)институты, обеспечивающие воспроизводство властных групп, а также устойчивые характеристики элитных персон специально не изучались. Важно сконструировать теоретическую модель, представляющую процесс формирования повседневных практик, зафиксированных в конкретных жизненных траекториях представителей разных социальных групп и семей в контексте трансформирующейся социальной реальности и в ключевых сферах жизнедеятельности. Уникальностью данного научного направления является возможность сравнительного ретроспективного и перспективного анализа повседневных практик конкретных семей на протяжении жизни более чем одного поколения, охватившего исторический период переломных социально-экономических трансформаций по нескольким временным итерациям.

Научная проблема определяется несоответствием достигнутого уровня социологического анализа вызовам и противоречиям развития современных обществ, в том числе динамики российского общества. Разнообразие складывающихся конфигураций культурных, институциональных и организационных структур в экономике, политике и культуре недостаточно отражено в существующей научной литературе. В социологических интерпретациях современного российского общества конкурируют различные подходы: модернизационный, цивилизационный, мир-системный, неинституциональный, глобализационный. Существующие подходы нацелены в основном на выявление условий и механизмов перехода от социалистического (советского) типа общества к новому общественному устройству, включающему рыночную экономику, либерально-демократическую форму правления, гражданскую нацию, правовое государство, массовый средний класс, неидеологизированные культурные практики. Процесс макросоциальных перемен назывался по-разному: модернизация, транзит, трансформация, системный кризис, неотрадиционализация. Были получены весомые научные результаты, показывающие особенности структурных, институциональных, поведенческих, ценностных изменений российского общества. Вместе с тем имеющиеся теоретические разработки и эмпирические данные не позволяют целостно представить и объяснить противоречивый характер развития современного российского социума в разных сферах – экономике, политике, культуре, и на разных уровнях – социетальном, локальном, региональном, глобальном. Предлагаемые в научной литературе и публичных дискуссиях объяснения динамики современного российского общества исходят, как правило, из представления о предопределенности траектории его развития, обусловленной либо универсальной логикой разворачивающихся процессов

модернизации и глобализации, либо устойчивостью исторически сложившейся и воспроизводимой в реальных практиках базовой культурной программы или институциональной матрицы. Следствием данной методологической позиции являются либо односторонние «монолитные» образы российского общества, игнорирующие как временные, случайные, переходные, остаточные или несущественные те стороны российской действительности, которые не вписываются в принятую теоретическую модель; либо эклектичные образы российского общества, изображающие его как «разорванное», «расколотое», «промежуточное». В результате российское общество предстает как смесь взаимоисключающих характеристик, приписываемых противоположным социетальным типам: традиционному и современному, «восточному» и «западному», самобытному и инокультурному, центральному и периферийному. Однако подобные макроуровневые теоретические модели оказываются аисторичными, малоспособными репрезентировать реальные процессы социальных и культурных изменений и к тому же существенно ограничивающими практические возможности цивилизационного выбора для обществ. Теоретические подходы, которые схватывают проявляющееся в современном мире разнообразие культурных форм и социальных практик, сосредоточены, как правило, на микроуровне и не позволяют провести анализ множественных конфигураций модерности, развившихся в разных социетальных контекстах. Нужна разработка теоретической перспективы, до сих пор не имевшей широкого применения в анализе российского общества. Постсоветскую трансформацию предлагается рассматривать не как процесс модернизации (или неотрадиционализации), а как реконфигурацию модели модерности, формирующейся в российском цивилизационном контексте. Основной целью должна стать разработка общей модели цивилизационной динамики российского общества как изменяющейся многомерной модерности в сферах экономики, политики и культуры в условиях глобализации, а также концепции конфигураций и траекторий российской модерности на основе исследования разнообразных форм и динамики современных обществ.

Ключевым фактором и, одновременно, компонентом устойчивого развития общественной системы является человеческий капитал, состояние которого на каждый конкретный момент исторического времени определяется масштабами и качеством его воспроизводства. Непрерывная смена поколений в обществе в единстве и гармонии их количественной и качественной определенности есть процесс, формируемый многоуровневой сложно-организованной непрерывно изменяющейся эко-социальной средой.

Для объяснения механизмов формирования определенного типа воспроизводства новых поколений и их прогнозирования на долгосрочную перспективу требуется соответствующее модельное представление, включающее параметры, характеризующие как сами новые поколения, так и компоненты эко-социальной среды и их воздействие.

Необходимо создание принципиально новой теоретико-методологической базы, основанной на междисциплинарном исследовании проблемы. Его научная значимость определяется, прежде всего, ориентацией на преодоление сложившегося разрыва в изучении эко-социального пространства, при котором доминируют автономно проводимые исследования демографических, социальных, экологических процессов.

Предлагаемый подход может рассматриваться как продолжение интеллектуального поиска В.И. Вернадского в области всепланетных систем и единой информационной системы, а также идей московской философско-математической школы (П.А. Некрасов, Н.В. Бугаев, Н.Я Цвингер и др.) о месте человека в мире, его взаимодействии с окружающей средой и степени детерминированности поведения индивидуума.

Исследование проблемы «Модели воспроизводства новых поколений в многоуровневой эко-социальной среде» включает решение следующего комплекса задач: 1) разработка системы моделей, описывающих основные типы (режимы) воспроизводства новых поколений; 2) структуризация эко-социальной среды с применением нечетких методов кластеризации как более близких к «естественным» свойствам среды – создание перечня компонентов с исчерпывающей полнотой охватывающего все элементы эко-социальной среды, в которой происходит воспроизводство новых поколений, и учитывающего структуру, содержание соответствующих информационных ресурсов; 3) формирование системы индикаторов каждого компонента эко-социальной среды, включая критерии их идентификации, частные индикаторы состояния и тренда развития, интегральную оценку паттернов; 4) построение моделей связи (взаимодействия) компонентов эко-социальной среды и самого процесса воспроизводства новых поколений с учетом степени сопряженности компонентов среды между собой с использованием нечетких когнитивных карт (Л.Заде, Б.Коско, А.Кофман); 5) создание мега-модели (с применением методов адаптивных нечетких систем), воспроизводящей единую картину механизмов воспроизводства новых поколений, в которой объединены представленные в п.п. 1-4 блоки характеристик.

Применение предложенной мега-модели воспроизводства новых поколений позволит решить ряд задач: 1) создать типологию эко-социальных сред 2) в текущем режиме оперативно осуществлять выбор наиболее эффективных инструментов государственного регулирования процесса воспроизводства новых поколений;

3) разработать сценарии развития для разных типов эко-социальной среды при доминировании того или иного компонента; 4) формировать реалистичные долгосрочные прогнозы воспроизводства новых поколений.

Данная модель не ограничена ориентацией на условия конкретной страны, хотя случай России выступает в той или иной мере в качестве образца с практически бесконечными ресурсными возможностями. Основными методологическими принципами являются: выделение паттернов каждого компонента эко-социальной среды; моделирование их иерархии, взаимодополнительности и структуры. Предпочтение отдается подходу «fuzzy sets» как наиболее адекватному реальной размытости границ объектов и их взаимодействий, переходам от многомерных иерархизированных структур к многомерным неиерархизированным моделям, интегрирующим множественные структуры и допускающим их диффузии и структурные сдвиги.

Ставится задача: 1) определения и характеристики основных типов воспроизводства новых поколений; 2) классификации и характеристики компонентов эко-социальной среды, охватывающей все многообразие факторов и элементов «среды обитания», в которых происходит воспроизводство новых поколений; 3) классификации типов эко-среды; 4) интеграции всех частных комплексов в единую мега-модель, что позволяет проследить, как «работает» в целом система смены поколений в обществе; 5) формирования критериев качества поколения и обуславливающих факторов (социальных и внесоциальных, в допустимом «коридоре» колеблемости); 6) обоснование и выработка критериев, построение модели оптимального сочетания индивидуальной свободы и регулирования централизованными и местными властными структурами; 7) вариантов мега-сценариев в условиях структурной полифонии, структурных сдвигов при возрастании критериев качества новых поколений и эко-социальной среды.

Современные события как в нашей стране, так и за рубежом ясно указывают на взаимное недопонимание взаимодействующих социальных акторов. Трудно преувеличить ущерб, возникающий как для государств, так и для отдельных лиц, обусловленный расхождениями во взглядах на общественные проблемы. Наряду с «естественными различиями» в политических, экономических и социальных интересах взаимодействующих акторов возникающие разногласия обусловлены отсутствием информации, которой могли бы доверять взаимодействующие стороны. Предлагаемые к разработке научные методы способны усовершенствовать информационно-аналитическое обеспечение современных общественных процессов с целью минимизации социальных разногласий, возникающих как в государственных рамках, так и в межгосударственных, межнациональных и иных общественных отношениях. Создание методов

конструирования социальной информации, способных на основе взаимодействия конфликтующих социальных акторов, выражать существующие противоречия и способствовать их преодолению, мы считаем актуальной задачей консолидации современного общества.

Новизна предлагаемых структурных методов управления знаниями, с помощью которых социальное знание конструируется самими участниками социальных процессов, выражается оригинальными контекстно-ориентированными моделями, предложенными Г.В.Каныгиным (Каныгин, 2010, 2011). Эти модели обеспечивают методам управления знаниями функциональность, которая недостижима в рамках современных подходов, существующих в мировой науке.

Ключевым достоинством предлагаемой функциональности является возможность верификации создаваемого социального знания без привлечения экспертов, мнение которых неизбежно подвержено социально ангажированному влиянию. Эта практически важная особенность основана на мощном структурном аппарате, аналогичном существующему в языках программирования высокого уровня, реализуется на естественно-языковых обозначениях, сочетается с интуитивно понятным визуальным представлением социальной информации, не требует дорогостоящей специальной подготовки пользователей и др.

Описанные проекты соответствуют уставным основным направлениям научно-исследовательской деятельности СИ РАН. По близким к теме программы исследовательским направлениям в 2011–2013 гг. были получены следующие основные научные результаты.

1) Выполнены теоретические и эмпирические исследования процессов становления и институционализации федеральных и региональных элит. Исследованы формальные и неформальные практики функционирования петербургского законодательного органа власти. Выполнено исследование бассейна рекрутирования муниципального депутатского корпуса 32 региональных столиц с населением свыше 500 тыс. человек (всего 32 города, исключая города федерального подчинения – Москву и Петербург). Проведен сравнительный анализ социально-профессиональных характеристик депутатов городских Дум первого и действующего (на декабрь 2011 г.) созывов этих городов.

Выявлены основные тенденции эволюции этих характеристик (среди которых – «дебюрократизация», социальное закрытие и плутократизация), связанные с изменением контекста рекрутирования (партийной и избирательной систем, структуры городской экономики, институционального дизайна представительных органов и пр.).

Проведен сравнительный анализ характеристик бассейна рекрутирования регионального депутатского корпуса «второго эшелона» КПРФ, «Справедливой России» и ЛДПР. Созданная в 2011 г. биографическая база данных включила сведения о 836 депутатах, представляющих эти партии в парламентах субъектов РФ. Анализ показал, что, несмотря на ряд общих тенденций (например, профессионализация), партийные группы депутатов обладают спецификой социально-демографических и социально-профессиональных характеристик (в частности, существенно варьируется возраст депутатов, степень номенклатуризации, плутократизации, милитаризации и социальной закрытости депутатского корпуса), связанной с особенностями истории, электоральной базы, идейно-политического профиля и организационной структуры партий.

2) Коллектив исполнителей проекта на протяжении ряда лет проводит теоретические и эмпирические исследования семьи, гендерных и сексуальных отношений в России. В их основе лежат фундаментальные разработки по изучению современных форм семейно-брачных отношений, а также исследованию проблем, связанных с трансформацией гендерных отношений и межпоколенческих взаимодействий в семье. В теоретическом плане разработаны оригинальные концепции исторических типов семейных отношений (С.И. Голод) и гендерных картин мира (Н.А. Нечаева), нашедшие отражение в ряде публикаций и получившие отклик в научном сообществе. Экспериментальные разработки по изучению указанных проблем представлены в массивах данных по авторским методикам в период с 1980 по 2008 годы. В качестве научного задела могут рассматриваться результаты, полученные в ходе работы по проекту РФФИ «Трансформации российской семьи в условиях глобализации: теоретическое и экспериментальное моделирование процессов»(2007-2009 гг.) и РГНФ «Семья и семейные ценности в трансформирующихся обществах: сравнение России и Китая» (2013 г.). В настоящее время завершается подготовка монографии по данному проекту, в которой участвуют исследователи Социологического института РАН и Института социологии Шанхайской академии социальных наук. На основе анализа материалов ВПН-2002 и 2010, а также выборочных обследований российских семей выявлено, что процесс нуклеаризации семей прекратил свое поступательное движение, увеличилась доля прочих домохозяйств, а также домохозяйств, состоящих из одного человека.

3) Научный коллектив вел исследования воспроизводства социальной дифференциации и изменений социальной структуры крупного города с 1989 года, в том числе, с 1995 года при грантовой поддержке РГНФ. Институт обладает важным конкурентным преимуществом базами данных результатов собственных эмпирических исследований по заявленной тематике, биографическими базами данных властных персон,

ресурсом Биографического фонда СИ РАН, а также базой данных международного проекта «Социальное неравенство и что оно означает для экономического и демократического развития Европы и ее граждан. Посткоммунистическая Центральная и Восточная Европа в сравнительной перспективе». (Рамочная программа 6, Контракт № 028920 (C1T5), 2006-2009)), охватывающей данные выборок в 11 странах Центральной и Восточной Европы.

4) Проведен сравнительный анализ основных подходов к изучению посткоммунистических трансформаций с позиций концепции множественных модерностей в западной социологии и исследований процессов модернизации российского общества в работах отечественных социологов. Выявлены концептуальные противоречия данного подхода, а также возможности их преодоления на основе использования теоретических разработок современной социологической версии цивилизационного анализа. Разработана логическая структура исследовательской программы современного цивилизационного анализа, показана ключевая роль взаимосвязанных принципов исторической контингентности, автономии культуры и креативности действия в обосновании самостоятельного эпистемологического статуса цивилизационного анализа.

5) В 2011 г. исследования по плановой теме НИР РАН завершены созданием оригинальных контекстно-ориентированных методов анализа нечисловой информации. В 2011 г. по результатам академических исследований Каныгиным Г.В. защищена диссертация на соискание ученой степени доктора социологических наук. В 2012-2013 г.г. Корецкой (Кишинской) В.С. выполнена апробация указанных методов. В 2013 г. Каныгиным Г.В. сформулированы основные принципы построения социального знания. В 2013–2014 гг. Каныгиным Г.В., Полтинниковой М.С., Корецкой В.С., Габдуллиным А.И. продолжена разработка проблем конструктивных методов организации социального знания и начаты работы по их созданию в виде контекстно-ориентированного онторедатора.

За период 2009–2013 гг. СИ РАН было выполнено 10 прикладных исследований по заказу Правительства Санкт-Петербурга, в 2013 г. было проведено 2 исследования для Всемирной организации здоровья ООН.

9.2.2 Основные направления развития философской науки: проблемы и перспективы

Общей тенденцией развития философской научной мысли в современной России является компаративистское направление исследований, которое, по мнению экспертов (см: Гаман-Голутвина, Киященко 2013: 24), позволяет проследить рецепцию важнейших фундаментальных теорий в различных социокультурных контекстах и открывает новый тип историко-научных исследований.

По данным РФФИ и РГНФ, в последние годы заявки и поддержанные проекты распределяются по ведомственной принадлежности в следующей примерной пропорции: до 70% – высшая школа и до 25% – Российская академия наук.

Тематика исследовательских проектов охватывает практически все разделы философского знания. К примеру, четверть проектов, поддержанных в течение последних двух лет РГНФ, составляют историко-философские исследования. Среди них проекты, посвященные наследию Древней Греции, изучению конфуцианских рукописей, истории японской философии XX в.

Интересные подходы к осмыслению истории отечественной философской мысли представлены в рамках сравнительных исследований ученых Саратовского государственного университета (Этическое учение Канта и его развитие в работах Г. Когена и В. Соловьева: компаративистский анализ) и Балтийского федерального университета им. И. Канта (Проблема психологизма в логических учениях второй половины XIX – начала XX в. (Англия, Германия, Россия).

Традиционно широко представлены фундаментальные исследования по философии науки и техники. Большой интерес представляет проект ИФ РАН (В.Г. Горохов), рассматривающий феномен технонауки в широком временном диапазоне – от Галилея до современной нанотехнонауки.

Значителен удельный вес проектов, посвященных проблемам социальной философии и философии культуры, формированию креативных интеллектуальных сред и изучению различных социокультурных феноменов (ИФ РАН, ИФПР СО РАН, ИИЕТ РАН, НИУ ВШЭ, МГУ, СГУ, ВлГУ, Томский ГУ, КФУ и др.).

В Санкт-Петербурге основными центрами изучения философской научной мысли являются СПбГУ (Институт философии), РХГА, РГПУ им. Герцена (ф-т философии человека и ряд научных подразделений), НИУ ВШЭ – СПб, СПб филиал АРАН, а также Санкт-Петербургское Философское общество, имеющее несколько отделений в высших

учебных заведениях СПб, ряд постоянно действующих семинаров и общественных организаций.

В Институте философии СПбГУ действуют 11 научно-педагогических школ, деятельность которых отражает самые разные направления фундаментальных исследований в области философии: научная школа философской компаративистики, научно-педагогическая школа философской антропологии, научная школа «Целостный подход в философии и науке», научная школа по изучению философии науки и техники, Санкт-Петербургская школа религиоведения и др.

В Реестр научных школ СПб включены: Философия культуры (В.В. Савчук); Философия религии и религиоведение (Шахнович М.М.).

Официальным печатным органом петербургских философов является журнал Санкт-Петербургского философского общества «Мысль», с 2010 года включенный в Электронную библиотеку Российского индекса научного цитирования. Основное научное мероприятие – ежегодные «Дни философии в Санкт-Петербурге», объединяющие ученых петербургских и российских вузов. Играя ведущую роль в философской научной жизни города, «Дни философии», однако, не имеют международного признания: в программах последних лет нет докладов на английском языке, крайне ограниченно представлены проекты, являющиеся результатом международного научного сотрудничества.

В Русской христианско-гуманитарной академии сложилась Научно-педагогическая школа ценностно-культурологической педагогики, философии исторических, региональных форм образования и актуальных проблем взаимодействия религиозных культур в образовательной среде (Школа включена в Реестр; рук. – Д.К. Бурлака).

Основные направления исследований: Обоснование и конкретизация оснований ценностно-культурологической модели гуманитарного образования и методологии ее внедрения; Философия исторических, региональных форм образования; Проблемы взаимодействия религиозных культур в образовательной среде: история и современность.

Руководители и исполнители основных проектов РХГА считают основной задачей своей работы не коммерческое внедрение, но результативность фундаментальных исследований и практическое включение в образовательный процесс идей ценностно-культурологической педагогики. За последние 3-5 лет благодаря деятельности коллектива школы и, шире, всего научно-педагогического коллектива академии, конкретизирован принцип культурологического построения гуманитарного образования и введено понятие ценностно-культурологической модели образования.

С учетом меняющихся реалий современного мира одним из важнейших и наиболее перспективных проектов в области философии можно назвать среднесрочную Программу

научных исследований и мероприятий РХГА и ее инновационных структур «Христианство и ислам в современной России». Программа является отражением миссии РХГА как одного из ведущих научных и научно-методических центров, в котором ведутся теоретические и прикладные религиоведческо-культурологические исследования, направленные на изучение истории и философии религии, исторических и современных форм религиозного образования, проблем межконфессионального взаимодействия, осуществляется обширная научно-издательская деятельность по указанным направлениям науки и практики. Принятие Программы «Христианство и ислам» официально закрепило один из приоритетов научно-теоретической и научно-практической деятельности РХГА, учитывающий стратегические задачи, стоящие перед гражданским обществом, государственной властью и ведущими религиозными конфессиями в нашей стране.

В рамках программы «Духовно-нравственное образование: Петербургский вектор» РХГА ведет планомерную работу по повышению квалификации учителей (140-150 человек в год). Это направление – с учетом более широкой задачи воспитания духовно-нравственной личности гражданина России через всю педагогическую систему средней школы – представляется также одним из перспективных.

Одним из самых значительных в философской жизни Санкт-Петербурга является долгосрочный исследовательский и культурно-просветительский проект Русский путь: pro et contra, инициированный и реализуемый Русской христианской гуманитарной академией. Результаты исследовательской работы воплощаются в виде антологий и (или) информационных ресурсов, размещенных в сети. Проект «Русский Путь: pro et contra» – это единственный из реализованных в постсоветское время серийных проектов, имеющих междисциплинарное культурологическое значение.

В РГПУ имени А.И. Герцена сформировались три научно-педагогические школы, включенные в Реестр: Философия человека (А.А. Корольков); Культурология, философия культуры, искусствоведение (Мосолова Л.М.); Русская эстетическая мысль (Валицкая А.П.). Помимо факультета философии человека, научная работа ведется силами подразделений: Центр философии нового мышления (философско-методологические и междисциплинарные исследования в области современного управления); Научно-образовательный центр «Философия современности и стратегии гуманитарной экспертизы» (постоянно действующие семинары Центра посвящены актуальным проблемам методологии современной философии и гуманитарных наук, антропологии образования и философии детства, комплексной диагностике трансформационных процессов культуры и этико-политической прогностике социальных процессов современности).

Основные проблемы:

1) Недостаточное количество крупных международных научных мероприятий (2-3 в год, включая Международный научно-культурный форум «Дни философии в Санкт-Петербурге»).

2) Недостаточное количество проектов создания и приобретения программного обеспечения. Текущие проекты (2011–2017): Современная мультимедийная энциклопедия философских, культурологических и религиоведческих знаний (РХГА); Информационно-аналитический портал и гипертекстовая электронная библиотека «Гегель в России» (РХГА); Информационная система «Философия, теория и методология истории в России» (СПбГУ); Создание централизованной электронной библиотеки «Молодые исследователи России: комплексные междисциплинарные исследования молодых ученых в области гуманитарных наук» (СПбГУ).

3) Неравномерное распределение грантовой активности.

4) Отмечаемое аналитиками фондов почти полное отсутствие проектов по философии естествознания и математики (в целом по России). Однако если в целом по России отмечается малое число проектов, посвященных философии религии, то в СПб эта проблема отсутствует).

5) Нет коллективных проектов, связанных с анализом взаимоотношений языка и общества (междисциплинарных лингвофилософских исследований).

6) Недостаточное количество издательских проектов.

7) Недостаточное количество проектов, посвященных описанию академического пространства Санкт-Петербурга (Е.Ю. Басаргина, АРАН).

8) Эпизодическое количество выступлений и публичных лекций зарубежных ученых.

9) Недостаточное участие петербургских ученых в создании Единой информационной научно-образовательной среды и партнерства в сфере науки, образования и реального сектора услуг (ИФ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Поволжский государственный технологический ун-т, Елецкий ун-т им. И.А. Бунина и ряд других организаций).

Кроме того, проблемой является чрезвычайно жесткая конкуренция и высокие требования к проектам, финансируемым фондами как результат недостаточной доли бюджета, выделяемой на развитие науки. (По данным экспертов, в развитых странах финансирование науки за счет грантов под конкретные проекты достигает половины общего бюджета. В России она значительно меньше. Так, доля финансирования фундаментальных исследований через фонды федерального подчинения не превышает 7-8% (РФФИ – 6%, РГНФ – 1-1,5% общего бюджета науки).

Список библиографических источников

1. Батыгин Г.С., Девятко И.Ф. Миф о «качественной социологии» // Социологический журнал. 1994. № 2. С. 28–42.
2. Винер Б.Е., Сафонова М.А. Сетевой анализ социтирований этнологических публикаций в российских периодических изданиях: предварительные результаты // Социология: 4М. 2013. № 36. С. 140-176.
3. Гаман-Голутанова О.В., Киященко Л.П. Философия и социальные науки // Вестник РГНФ. 2013. № 2(71).
4. Горбачевич К.С., Герд А.С. Предисловие // Большой академический словарь русского языка. Т. 1 М. СПб, 2004. С. 3-6.
5. Каныгин Г.В. Контекстно-ориентированная концептуализация социологической информации //Компьютерная лингвистика и развитие семантического поиска в Интернете: Труды научного семинара XIII Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество». Санкт-Петербург, 19-22 октября 2010 г. / Под ред. В.Ш. Рубашкина. СПб., 2010. С. 30-41.
6. Каныгин Г.В. Контекстно-ориентированный анализ качественных данных: структуры, алгоритмы и аналитические процедуры // Проблемы теоретической социологии. Вып. 8. Межвуз.сб./ Отв.ред. А.О. Бороноев. СПб.: Скифия-Принт, 2011. С. 240-260.
7. Кубрякова Е.С. Эволюция лингвистических идей во второй половине XX в. (опыт парадигмального анализа) // Язык и наука конца 20 века. М., 1995. С. 207 и след.
8. Кругликова Л. Е. Большой академический словарь как продолжатель традиций русской академической лексикографии // Cuadernos de Rusística Española nº8 (2012), 177-198.
9. Наточин Ю.В., Меншуткин В.В., Черниговская Т.В. Общие черты эволюции в гомеостатических и информационных системах // Журнал эволюц. биохим. и физиол. 1992, 28, 5, 623-637.
10. Троцук И.В. Качественное социологическое исследование: предпосылки и логика проведения. Конспект лекций. Для студентов направления «Социология» факультета гуманитарных и социальных наук. – М.: Изд-во РУДН, 2008.
11. Черниговская Т.В. «До опыта приобрели черты...»: Мозг человека и породивший его язык // Логос, № 1[97], 2014.
12. Черниговская Т.В. «Чеширская улыбка кота Шрёдингера: язык и сознание». Москва: ЯСК, 2013.

13. Черниговская Т.В. Если зеркало будет смотреться в зеркало, что оно там увидит? (к вопросу об эволюции языка и сознания) // Когнитивные исследования: Сб. научных трудов. Вып. 4. М.: ИП РАН, 2010.
14. Черниговская Т.В. Мозг и язык: врожденные модули или обучающаяся сеть? // МОЗГ. Фундаментальные и прикладные проблемы. По материалам сессии Общего собрания Российской академии наук 15-16 декабря 2009 / Под ред. акад. А.И. Григорьева. М.: Наука, 2010.
15. Черниговская Т.В. От коммуникационных сигналов к языку и мышлению человека: эволюция или революция // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2008, 94, 9.
16. Черниговская Т.В. Языки сознания: кто читает тексты нейронной сети?// Человек в мире знания. К юбилею акад. В.А. Лекторского. М.: Институт философии РАН, 2012.

Публикации по теме исследования в 2014 году

1. Социальные проблемы инновационного развития общества: Сб. научных работ / Отв. ред.: И.И. Елисеева, Е.А. Иванова, Б.Г. Тукумцев. – СПб.: Нестор-История, 2014. – 336 с. (Серия «Социология инноваций»).
2. Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук / Под редакцией Е.А. Ивановой, С.В. Кузнецова. ИПРЭ РАН, СПбНЦ РАН. СПб, 2014. – 82 с.: ил.
3. Наука и техника: Вопросы истории и теории. Материалы XXXV международной годичной конференции Санкт-Петербургского отделения Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН «Наука и техника в Первую мировую войну» (24–28 ноября 2014 г.) Выпуск XXX. СПб.: СПбФ ИИЕТ РАН, 2014. – 340 с.

10 Научный потенциал петербургских институтов Российской академии наук

В современных условиях наука является важнейшим фактором устойчивого развития страны, а научный потенциал образует ее стратегический ресурс. Десятая часть научного потенциала нашей страны сосредоточена в Петербурге. Расположенные в городе институты Российской академии наук составляют важнейшую часть этого потенциала.

В представляемом издании основное внимание сосредоточено на кадровой, экономической и финансовой составляющих научного потенциала комплекса петербургских институтов Российской академии наук. Использованные данные взяты из годовых статистических форм № 2-наука «Сведения о выполнении научных исследований и разработок» за период 2006–2011 гг. Статистическая информация собрана от 40 академических институтов. На основе полученной информации произведено обобщение данных в целом по петербургскому академическому комплексу по 7 разделам формы, используемым в статистической отчетности:

- 1) Численность работников, выполнявших научные исследования и разработки, на конец отчетного года.
- 2) Численность совместителей и лиц; работавших по договорам гражданско-правового характера.
- 3) Распределение исследователей по областям науки.
- 4) Распределение исследователей по возрасту.
- 5) Затраты на научные исследования и разработки.
- 6) Источники финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки.
- 7) Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники.

Некоторые приведенные в работе цифры могут незначительно отличаться от данных официальной статистики вследствие внесения организациями уточненных данных.

10.1 Общая характеристика научного потенциала институтов Российской академии наук, расположенных в Петербурге

В 2011 году в Санкт-Петербурге и Ленинградской области было расположено 46 учреждений Российской академии наук, из которых самостоятельными являлись 34 организации. Среди остальных имелось 9 филиалов, 2 отделения московских институтов РАН и 1 отделение новосибирского института. Большинство научных организаций входили в специализированные отделения РАН на правах институтов или как часть институтов, 1 – в региональное (Сибирское) отделение РАН, 3 научные учреждения находились непосредственно при СПбНЦ РАН⁷. В петербургском комплексе были представлены учреждения 8 специализированных отделений РАН из 10 существующих. В 2011 г. в петербургских институтах работали 10095 человек, из них 5803 исследователей.

Комплекс академических учреждений Санкт-Петербурга представляет собой десятую часть научного потенциала Российской академии наук. Многие академические институты составляют значимый сегмент мировой науки в области проводимых ими исследований. По общей численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками, по количеству исследователей, а также по разнообразию представленных в комплексе областей науки петербургский академический комплекс превосходит некоторые региональные отделения РАН. Например, общая численность персонала Уральского отделения РАН, занятого научными исследованиями и разработками в 2011 году составляла 6788 человек, в том числе исследователей – 3336 человек; Дальневосточного отделения РАН – 5553 и 2387 соответственно⁸. В Санкт-Петербурге эти показатели составили в том же году соответственно 10095 и 5803 человек.

Численность членов РАН, работающих в Петербурге, в последние годы менялась незначительно, заметно увеличившись лишь в 2011 году. На начало 2013 года в научных коллективах петербургских институтов РАН работали 19 академиков, 48 членов-корреспондентов РАН, 1045 докторов наук и 2236 кандидатов наук. Общая численность членов РАН, работающих в Санкт-Петербурге, составляла 116 чел., из них – 37 академиков и 79 членов-корреспондентов РАН (см. таблицу 10.1).

⁷ Согласно Распоряжению Правительства Российской Федерации от 01.07.2011 № 1135-Р Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН выведен из состава Российской Академии наук и передан в ведомство НИЦ «Курчатовский институт». Данные статистической отчетности института за 2006–2011 г. вошли в издание.

⁸ Наука РАН: Краткий стат. сб./ (гл. ред. Л.Э. Миндели). – М. ИПРАН РАН, 2009, 2010, 2011.

Таблица 10.1 – Численность членов Академии наук, работающих в Петербурге, в 2006–2011 гг.

| | на 01.09.2006 | на 01.12.2007 | на 01.12.2008 | на 01.12.2009 | на 01.12.2010 | на 01.12.2011 |
|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Академики | 39 | 39 | 39 | 37 | 35 | 38 |
| в т.ч. работающие в институтах РАН | 20 | 23 | 24 | 23 | 22 | 21 |
| Члены- корреспонденты РАН | 71 | 69 | 75 | 72 | 72 | 83 |
| в т.ч. работающие в институтах РАН | 52 | 50 | 55 | 52 | 51 | 45 |
| Общая числен- ность членов РАН | 110 | 108 | 114 | 109 | 108 | 121 |

В Государственный свод особо ценных объектов культурного наследия народов Российской Федерации включены три петербургских академических института: Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, Институт русской литературы (Пушкинский Дом) и Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера).

В 12 институтах естественнонаучного профиля имеется уникальное оборудование, которое относится к установкам и фондам национального масштаба.

В петербургских институтах РАН гуманитарного профиля хранятся и изучаются богатейшие коллекции книг и рукописей, архивных документов и памятников материальной культуры, предметов творчества и быта ученых, истории животного и растительного мира. Эти коллекции собраны усилиями многих поколений российских ученых и путешественников, дипломатов и государственных деятелей. Они являются бесценным материалом для изучения истории фундаментальной науки, исторического и культурного прошлого. Эти коллекции – не только часть национального достояния России, но и важная составляющая часть историко-культурного наследия всего человечества.

Уникальные научные коллекции имеются не только в гуманитарных институтах. В Главной (Пулковской) астрономической обсерватории – данные обзоров неба и оригинальные звездные каталоги; в Ботаническом обществе – коллекции-гербарии сосудистых растений, мхов, лишайников, водорослей, грибов, коллекция ископаемых растений, коллекция культур базидиомицетов, ботанический сад; в Зоологическом институте – фондовая зоологическая коллекция, Зоологический музей.

На базе петербургских академических институтов действуют центры коллективного пользования (ЦКП). В Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе работает ЦКП «Материаловедение и диагностика в передовых технологиях». В Институте цитологии создан и постоянно пополняется ЦКП «Коллекция культур клеток позвоночных». Он является центральным банком, научно-методическим и информационным центром Российской коллекции клеточных культур, включенной в Европейскую Организацию Коллекций культур и Всемирную Федерацию Коллекций Культур. В Зоологическом институте создан ЦКП «Центр современных методов систематики животных "ТАКСОН"», основной целью деятельности которого является развитие, внедрение и распространение современных методов изучения и мониторинга биологического разнообразия. Центр коллективного пользования Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.П. Сеченова предназначен для исследований в области физиологии, биохимии, морфологии, фармакологии, иммунологии, эндокринологии. В Научно-исследовательском центре экологической безопасности работает ЦКП «Физические методы дистанционного зондирования атмосферы и земной поверхности».

На базе петербургских академических институтов издаются 37 научных журналов, большинство из которых входят в международные информационные базы научных публикаций (WOS, Scopus и др.).

У академических институтов сложились многолетние тесные связи с высшими учебными заведениями города. Почти все институты имеют базовые кафедры, у крупных институтов есть базовые кафедры в нескольких вузах. Часть сотрудников академических институтов преподают в университетах. Так сотрудники Петербургского отделения Математического института (ПОМИ) преподают в Санкт-Петербургском государственном университете, на математико-механическом факультете которого функционирует так называемый ПОМИ-поток (с углубленным изучением математики). Физико-технический институт имеет 6 базовых кафедр в трех вузах города. Всего петербургские академические институты имеют более 50 базовых кафедр в вузах города. В некоторых академических институтах созданы научно-образовательные центры. По договорам, заключенным между академическими институтами и вузами, студенты и аспиранты вузов имеют возможность проводить исследования в Центрах коллективного пользования академических институтов.

Средний возраст сотрудников академических институтов не дает представления о ситуации в разных институтах. В 27 петербургских институтах РАН доля сотрудников моложе 39 лет составляет более четверти исследователей, а в 10 институтах – треть

исследователей. Средний показатель оказывается высоким за счет того, что около половины численности исследователей петербургских академических институтов – сотрудники ФТИ им. А.Ф. Иоффе, а в этом институте доля исследователей моложе 39 лет составляет 28%.

Подготовка научных кадров высшей квалификации в Петербурге ведется в 31 учреждении РАН по 70 научным специальностям. На начало 2013 г. общее число аспирантов составляло 448 чел., докторантов – 10 чел., соискателей ученой степени кандидата наук – 181 чел. За 2008–2012 гг. выпуск из аспирантуры составил 600 чел., из них с защитой диссертации – 85 чел. (14,2 %) и с представлением диссертации к защите – 195 чел. (32,5%), т.е. успешно закончили обучение в аспирантуре 46,7% учащихся. Из 481 чел., окончивших основную аспирантуру с отрывом от производства, 292 чел. (61%) были зачислены в штат институтов. Следует отметить, что за эти годы общая численность аспирантов изменялась в пределах от 444 до 482 чел., в то время как численность докторантов колебалась от 10 до 22 человек.

Общее число аспирантов на 01.01.2011 г. составило 482 чел., соискателей ученой степени кандидата наук – 208 чел. В 2011 г. принято в аспирантуру 152 человека, окончили аспирантуру 101 чел., из них 14 чел. – с защитой диссертации и 34 чел. – с представлением диссертации к защите. Общее число докторантов на 01.01.2011 г. составило 11 чел. В 2011 году докторантуру окончили 4 человека, из них 1 чел. с представлением диссертации.

Академические учреждения пополняются молодыми кадрами – выпускниками городских ВУЗов. За 2008–2012 гг. в академические научные учреждения РАН принято 374 молодых специалиста, из них: бакалавров – 39 чел. (10%); специалистов – 202 чел. (54%); магистров – 133 чел. (36%). Они были зачислены на должности: младшего научного сотрудника – 45 чел. (12%); стажера-исследователя – 88 чел. (24%); инженеры, лаборанты и др. – 241 чел. (64%). В 2011 г. в учреждения Центра были зачислены 76 молодых специалистов, 16 из них позже поступили в аспирантуру.

Молодые ученые из академических институтов Санкт-Петербурга участвуют в Конкурсе грантов для студентов и аспирантов и в Конкурсе на предоставление субсидий молодым ученым и молодым кандидатам наук вузов и академических учреждений, проводимых ежегодно Правительством Санкт-Петербурга. В число победителей конкурсов в 2011 г. вошли: 25 аспирантов из 8 институтов, 30 молодых ученых из 14 институтов и 30 молодых кандидатов наук из 17 институтов Российской академии наук.

10.2 Научные кадры

10.2.1 Общая численность работников, выполнявших научные исследования и разработки

По состоянию на 1 января 2012 года (по итогам за 2011 год) общая численность всех категорий персонала, занимающегося научными исследованиями и разработками в академическом комплексе СПбНЦ РАН, составляет 10095 человек (табл. 10.2).

В 2008 г. по сравнению с 2006 г. общая численность персонала, занятого исследованиями и разработками, вследствие проводимой политики сокращения кадров уменьшилась на 5,9%. В 2011 г. общая численность составляла 99,97% от значения этого же показателя в 2006 г. и 100,5% по отношению к 2010 г. Динамика этого показателя: 2006 г. – 10098 чел.; 2007 – 9692; 2008 – 9503; 2009 – 9749; 2010 – 9856; 2011 г. – 10095 чел.

Таблица 10.2 – Численность работников, выполнявших научные исследования и разработки, в 2011 году (чел.)

| | Всего | в том числе имеют образование | | | |
|--|-------|-------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|
| | | высшее профессиональное | из них имеют ученую степень | | среднее профессиональное |
| | | | доктора наук | кандидата наук | |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 10095 | 7693 | 1181 | 2512 | 810 |
| в том числе: исследователи | 5803 | 5803 | 1178 | 2494 | 0 |
| техники | 731 | 432 | 0 | 2 | 161 |
| вспомогательный персонал | 1806 | 876 | 3 | 15 | 302 |
| прочие | 1755 | 582 | 0 | 1 | 347 |

10.2.2 Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по категориям

В составе общей численности в 2012 г. было 57,5 % исследователей, 7,2% – техников, 17,9% – вспомогательного персонала и 17,4% – прочих.

В табл. 10.3 приведены сравнительные данные о структуре персонала, занятого научными исследованиями и разработками, по Санкт-Петербургу, СЗФО и Российской Федерации. Академическая наука характеризуется более высокой долей исследователей и

более низкой долей вспомогательного персонала по сравнению с другими секторами науки. На наш взгляд, это свидетельствует о том, что академические исследователи часть функций вспомогательного персонала выполняют сами.

Таблица 10.3 – Сравнение распределения работников, выполнявших научные исследования и разработки, по категориям в 2011 году (%)

| | СПбНЦ РАН | Санкт-Петербург | СЗФО РФ | Российская Федерация |
|--|-----------|-----------------|---------|----------------------|
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе: | | | | |
| исследователи | 57,5 | 54,7 | 53,2 | 50,1 |
| техники | 7,2 | 7,0 | 7,3 | 8,0 |
| вспомогательный персонал | 17,9 | 21,7 | 22,0 | 24,9 |
| прочие | 17,4 | 16,6 | 17,5 | 17,0 |

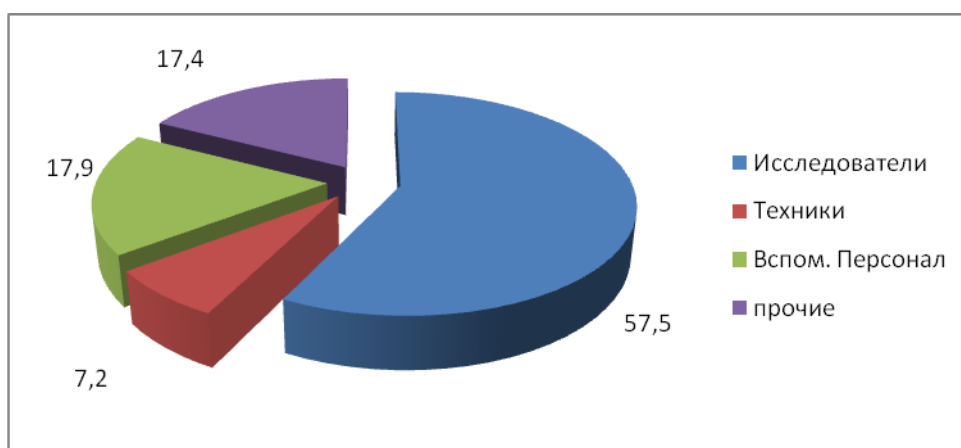


Рисунок 10.1 – Структура персонала, занятого исследованиями и разработками в петербургских институтах РАН, по категориям в 2011 году

1) *Исследователи.* Численность исследователей в петербургских институтах РАН по состоянию на 01.01.2012 г. составляла 5803 чел. или 57,5% от общей численности. В 2008 г. их численность по сравнению с 2006 г. сократилась на 5,8%. В 2011 г. – увеличилась по сравнению с 2006 г. на 58 чел. (или на 1%), а по сравнению с показателями 2008 г. – на 391 чел. (или на 7,2%), 2010 г. – на 168 чел. (или на 3%). Динамика показателя: 2006 г. – 5745 чел.; 2007 – 5486 чел.; 2008 – 5412 чел.; 2009 – 5562 чел.; 2010 – 5635 чел.; 2011 г. – 5803 чел.

2) *Техники.* Численность техников по состоянию на 01.01.2012 г. составляла 731 чел. или 7,2% от общей численности. Выявлена отрицательная динамика изменения их численности. При сокращении общей численности персонала на 5,9% в 2008 г. по сравнению с 2006 г. число техников сократилось на 12,8%. В 2011 г. их численность по сравнению с 2006 г. уменьшилась на 15,6%, по сравнению с 2010 г. – на 1,7%. Динамика показателя: 2006 г. – 866 чел.; 2007 – 866 чел.; 2008 – 755 чел.; 2009 – 688 чел.; 2010 – 744 чел.; 2011 г. – 731 чел.

3) *Вспомогательный персонал.* Численность вспомогательного персонала по состоянию на 01.01.2012 г. составляла 1806 чел. и занимала достаточно высокую долю в общей численности – 17,9%. В то же время численность вспомогательного персонала сокращается. Так, в 2011 г. численность этого персонала уменьшилась на 13,7% по сравнению с показателем 2006 г. и на 2% по отношению к 2010 г. Динамика показателя: 2006 – 2093 чел.; 2007 – 1969 чел.; 2008 – 1880 чел.; 2009 – 1882 чел.; 2010 – 1842 чел.; 2011 – 1806 чел.

4) *Прочие работники.* Персонал, относящийся к категории «Прочие работники» на 01.01.2012 г. насчитывал 755 чел. и занимал в общей численности достаточно высокую долю – 17,4%. Отмечается положительная динамика изменения численности прочих работников. Так, в 2011 г. их численность прочих работников увеличилась на 26,9% по сравнению с их численностью в 2006 г. и на 7,3% – с 2010 г. Динамика показателя: 2006 – 1394 чел.; 2007 – 1371 чел.; 2008 – 1456 чел.; 2009 – 1617 чел.; 2010 – 1635 чел.; 2011 – 1755 чел.

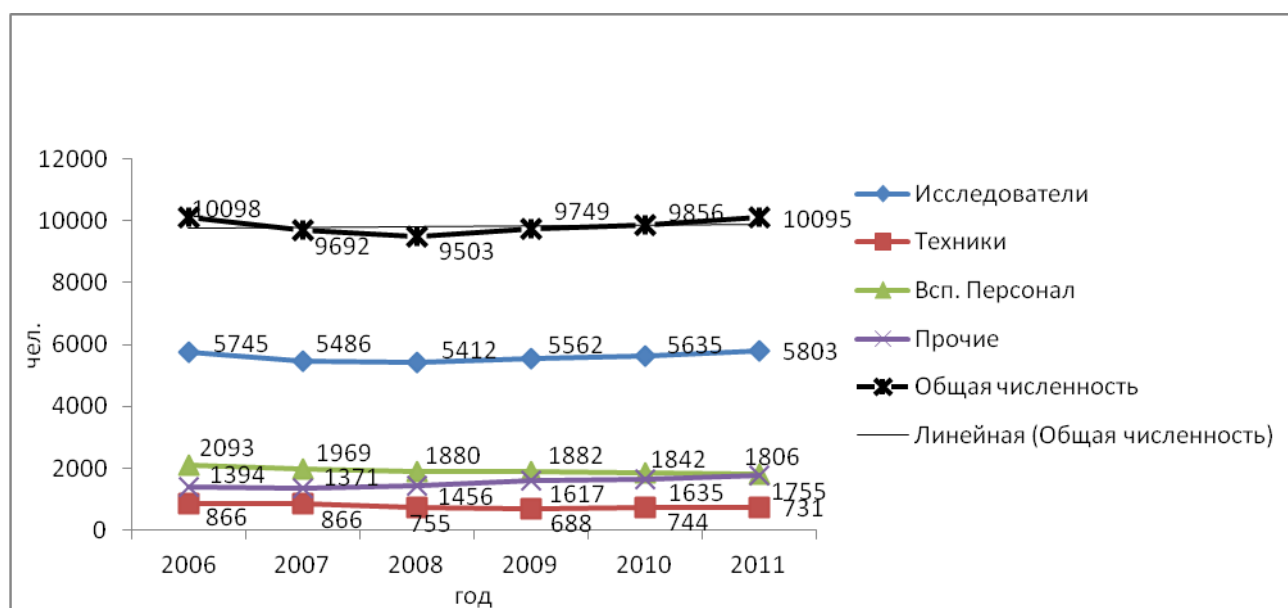


Рисунок 10.2 – Динамика численности работников, выполняющих научные исследования и разработки, по категориям

10.2.3 Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по уровню образования

По состоянию на 01.01.2012 г. в составе общей численности работников, выполнявших исследования и разработок, 76,2% сотрудников имеют высшее профессиональное образование, из них 11,2% имеют степень доктора наук и 24,9% – кандидата наук (табл. 10.4). Высокая доля работников с высшим образованием в общей численности объясняется высокой долей исследователей, которые все имеют высшее образование. Среди прочих 33,2% работников имеют высшее образование.

Следует отметить, что общая численность в 2011 г. и в 2006 г. почти совпадают. В то же время численность докторов наук в этот же период увеличилась с 1116 до 1181 чел., т.е. на 65 чел. Незначительно увеличилось и количество кандидатов наук: с 2493 чел. до 2512 (на 19 чел.). Отмечая более высокий рост числа докторов науки, с учетом потенциального пополнения докторского корпуса за счет кандидатов наук и естественного убывания докторов наук по возрастным причинам, можно предположить, что значительная часть кандидатов наук, являясь наиболее мобильной частью научных коллективов, выбывает из институтов по причине увольнения с переходом на другую работу. Динамика изменения численности докторов наук: 2006 – 1116 чел.; 2007 – 1050 чел.; 2008 – 1124 чел.; 2009 – 1148 чел.; 2010 – 1158 чел.; 2011 – 1181 чел. Динамика изменения численности кандидатов наук: 2006 – 2493 чел.; 2007 – 2360 чел.; 2008 – 2466 чел.; 2009 – 2483 чел.; 2010 – 2497 чел.; 2011 – 2512 чел.

1) *Исследователи.* В исследовательском корпусе, естественно, 100% имеют высшее образование. По состоянию на 01.01.2012 г. среди исследователей – 20,3% имеют степень доктора наук и 43% – кандидата науки, т.е. почти 2/3 исследователей имеют ученые степени. Динамика изменения численности докторов наук: 2006 – 1110 чел.; 2007 – 1044 чел.; 2008 – 1114 чел.; 2009 – 1146 чел.; 2010 – 1157 чел.; 2011 – 1178 чел. Динамика изменения численности кандидатов наук: 2006 – 2483 чел.; 2007 – 2350 чел.; 2008 – 2447 чел.; 2009 – 2470 чел.; 2010 – 2486 чел.; 2011 – 2494 чел.

2) *Техники.* По состоянию на 01.01.2012 г. в числе техников 59,1% работников имеют высшее профессиональное образование, в их числе 2 кандидата наук (0,3% от общей численности специалистов с высшим образованием). Среднее профессиональное образование имеют 22% техников.

3) *Вспомогательный персонал.* По состоянию на 01.01.2012 г. 48,5% вспомогательного персонала имеют высшее образование. В их числе 3 доктора наук (0,2%

от общей численности специалистов с высшим образованием) и 15 кандидатов наук (0,8% от общей численности специалистов с высшим образованием). Среднее профессиональное образование имеют 16,7% этой категории работников.

4) *Прочие работники*. Почти треть персонала (33,2%), отнесенного к категории *прочие*, имеют высшее образование, 19,8% – среднее профессиональное.

Таблица 10.4 – Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по уровню образования в 2011 году (%)

| | Всего | в том числе имеют образование | | | |
|--|-------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | высшее профессиональное | из них имеют ученую степень | | среднее профессиональное |
| | | | доктора наук | доктора наук | |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 100 | 76,2 | 11,7 | 24,9 | 8 |
| в том числе: | | | | | |
| исследователи | 100 | 100 | 20,3 | 43 | 0 |
| техники | 100 | 59,1 | 0 | 0,3 | 22 |
| вспомогательный персонал | 100 | 48,5 | 0,2 | 0,8 | 16,7 |
| прочие | 100 | 33,2 | 0 | 0,1 | 19,8 |

Таблица 10.5 – Распределение категорий работников, выполнявших научные исследования и разработки, по уровню образования в 2011 году (%)

| | Всего | в том числе имеют образование | | | |
|--|-------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | высшее профессиональное | из них имеют ученую степень | | среднее профессиональное |
| | | | доктора наук | доктора наук | |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе: | | | | | |
| исследователи | 57,5 | 75,4 | 99,7 | 99,3 | 0 |
| техники | 7,2 | 5,6 | 0 | 0,1 | 19,9 |
| вспомогательный персонал | 17,9 | 11,4 | 0,3 | 0,6 | 37,3 |
| прочие | 17,4 | 7,6 | 0 | 0 | 42,8 |

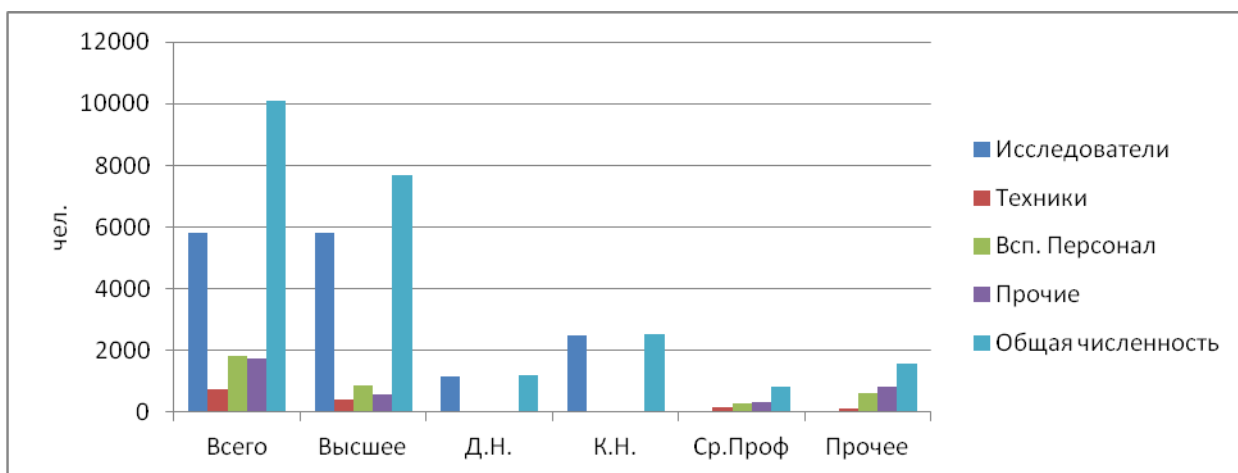


Рисунок 10.3 – Распределение категорий работников по уровню образования в 2011 году

Для сравнения приведем данные 2006–2010 гг. (табл. 10.6, 10.7, 10.8, 10.9; рис. 10.4, 10.5, 10.6, 10.7).

Таблица 10.6 – Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по уровню образования в 2006 году (%)

| | Всего | в том числе имеют образование | | | |
|--|-------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | высшее профессиональное | из них имеют ученую степень | | среднее профессиональное |
| | | | доктора наук | доктора наук | |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 100 | 74,3 | 11,1 | 24,7 | 8,7 |
| в том числе: | | | | | |
| исследователи | 100 | 100 | 19,3 | 43,2 | 0 |
| техники | 100 | 93,2 | 0 | 0 | 24,9 |
| вспомогательный персонал | 100 | 19,8 | 0,2 | 0,4 | 17,8 |
| прочие | 100 | 29,8 | 0,1 | 0,1 | 20,7 |

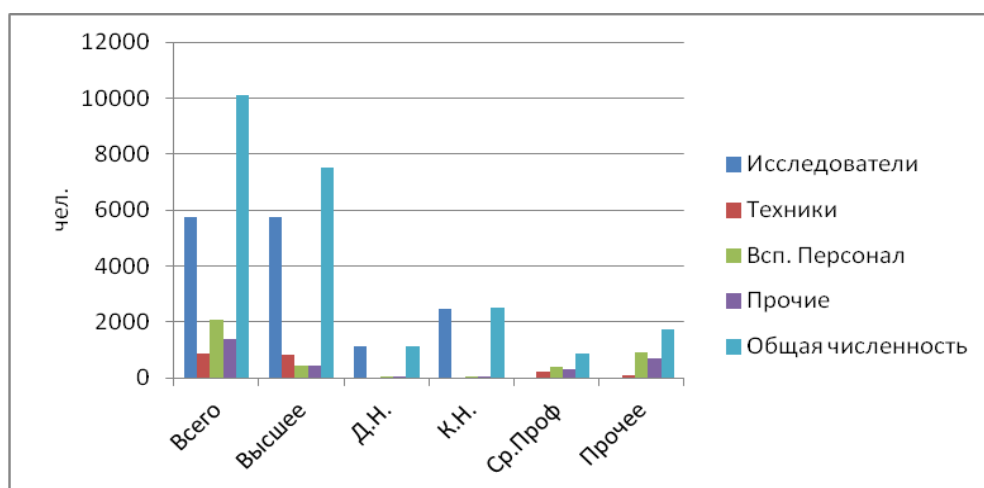


Рисунок 10.4 – Распределение категорий работников по уровню образования в 2006 году

Таблица 10.7 – Распределение категорий работников, выполнявших научные исследования и разработки, по уровню образования в 2007 году (%)

| | Всего | в том числе имеют образование | | | |
|--|-------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | высшее профессиональное | из них имеют ученую степень | | среднее профессиональное |
| | | | доктора наук | доктора наук | |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе: исследователи | 56,6 | 76,5 | 99,4 | 99,6 | 0 |
| техники | 8,9 | 7,6 | 0 | 0- | 25,5 |
| вспомогательный персонал | 20,3 | 10,4 | 0,5 | 0,4 | 41,2 |
| прочие | 14,1 | 5,4 | 0,1 | 0 | 33,4 |

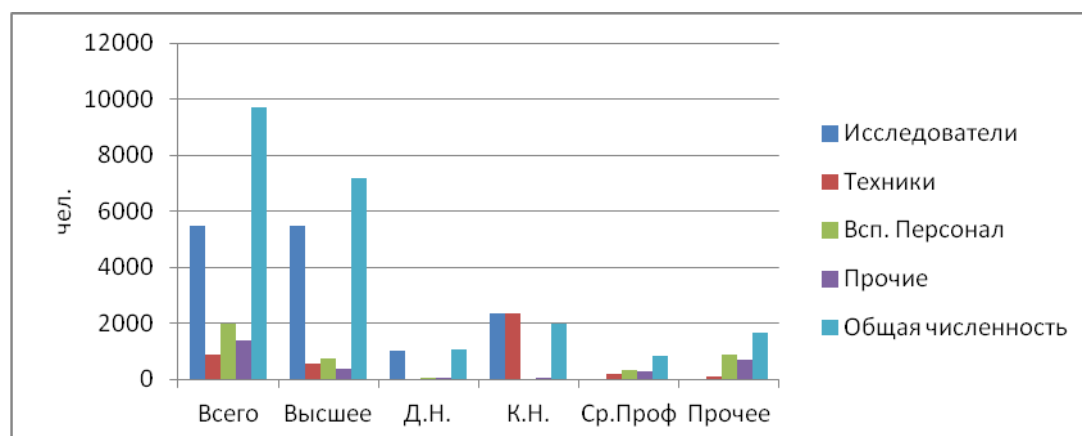


Рисунок 10.5 – Распределение категорий работников по уровню образования в 2007 год

Таблица 10.8 – Распределение категорий работников, выполнявших научные исследования и разработки, по уровню образования в 2008 году (%)

| | Всего | в том числе имеют образование | | | |
|--|-------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | высшее профессиональное | из них имеют ученую степень | | среднее профессиональное |
| | | | доктора наук | доктора наук | |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе: исследователи | 57,1 | 75,9 | 99,8 | 99,5 | 0 |
| техники | 7,1 | 5,7 | 0 | 0 | 21,2 |
| вспомогательный персонал | 19,3 | 11,9 | 0,1 | 0,4 | 36 |
| прочие | 16,6 | 6,6 | 0,1 | 0 | 42,8 |

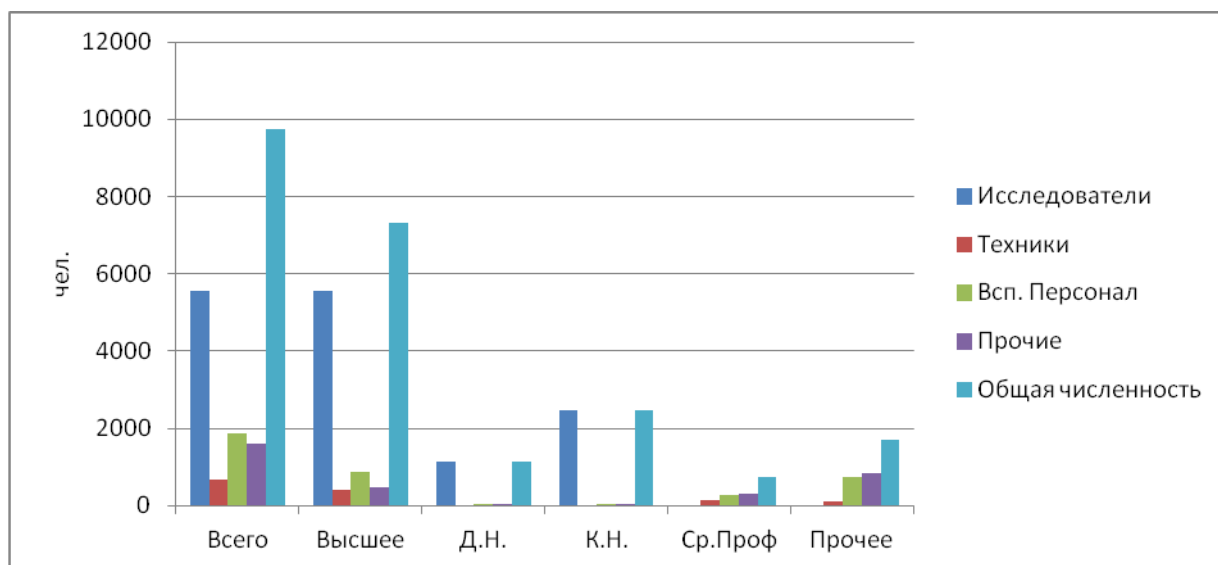


Рисунок 10. 6 – Распределение категорий работников по уровню образования в 2008 году

Таблица 10.9 – Распределение категорий работников, выполнявших научные исследования и разработки, по уровню образования в 2010 году (%)

| | Всего | в том числе имеют образование | | | |
|--|-------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | высшее профессиональное | из них имеют ученую степень | | среднее профессиональное |
| | | | доктора наук | доктора наук | |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки, всего | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе: | | | | | |
| исследователи | 57,2 | 75,4 | 99,9 | 99,6 | 0 |
| техники | 7,5 | 6,5 | 0 | 0 | 21 |
| вспомогательный персонал | 18,7 | 11,4 | 0,1 | 0,4 | 35,1 |
| прочие | 16,6 | 6,7 | 0 | 0 | 44,2 |

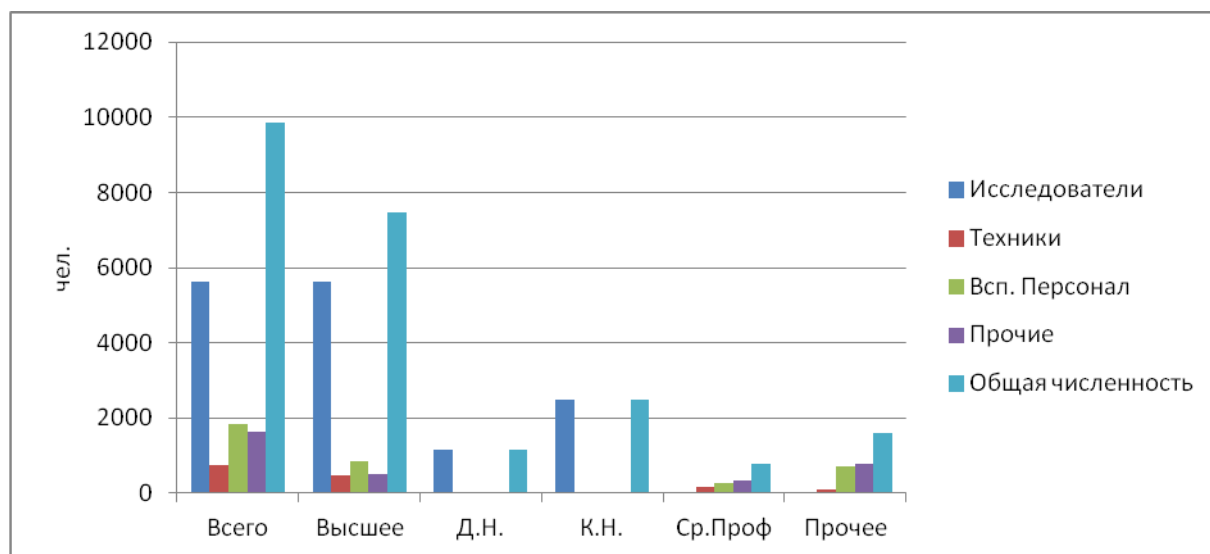


Рисунок 10.7 – Распределение категорий работников по уровню образования в 2010 году

10.2.4 Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по возрасту и полу

На 1 января 2012 года общая численность исследователей составила 5803 человек. В их числе: женщин – 38,6%. Среди докторов наук 22,8% женщин, а среди кандидатов наук 43,3%.

1) *Возрастная структура исследовательского корпуса.* Анализ возрастной структуры исследователей (табл.10.10, рис.10.8) показал: доля исследователей в возрасте до 29 лет составляет 11,4%. Это существенно выше их доли в 2006 году – 8,8%, что свидетельствует о притоке молодежи. При этом еще следует учитывать перемещение тех, кого в 2006 году относили к молодым ученым, в следующую возрастную группу. Доля исследователей возрастной группы 30-39 лет составляет 14,5% и находится в пределах их доли в 2006 году (14,7%). В то же время доля исследователей возрастной группы 40-49 лет составляет 12,6%, что существенно ниже их доли 2006 году (16,5%). Это может означать наиболее интенсивное выбывание исследователей этих двух групп из институтов. Тот же процесс наблюдается и в возрастной группе 50-54 года, которая составляла 10,2% в 2011 году в сравнении с их долей в 2006 году (12,3%).

Общая доля исследователей групп 55-59, 60-69 и 70 и более составляет 51,3% , т.е. более половины численности исследователей (в 2006 г. – 48,7%). К этим возрастным группам принадлежат 79,9% докторов наук. От общего числа докторов наук 78,6% являются пенсионерами. К этим группам относятся 47,1%, а из числа кандидатов наук 47,28% – пенсионеры. Средний возраст исследователя на 01.01.2012 составляет 53,4 года (по состоянию на 01.01.2009 – 51,2 года), доктора наук – 59,6 (по состоянию на 01.01.2009 – 62,8 года), кандидата наук – 52,5 года (по состоянию на 01.01.2009 – 52,7 года). Средний возраст определялся расчетным путем. В табл. 10.10 и на рис. 10.9 и рис.10.10 представлена возрастная структура докторов наук и кандидатов наук.

Изменение возрастных состояний персонала за исследуемый период отражено в таблице 10.12. На рисунках 10.11 и 10.12 представлены возрастные структуры 2006 и 2008 гг.

Таблица 10.10 – Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по полу и возрасту в 2011 году

| | № строки | Всего исследователей | | из них женщины | | Доктора наук, всего | | из них женщины | | Кандидаты наук, всего | | из них женщины | |
|---|----------|----------------------|------|----------------|------|---------------------|------|----------------|------|-----------------------|------|----------------|------|
| | | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % |
| Всего (сумма строк 402 – 408) | 401 | 5803 | 100 | 2240 | 100 | 1178 | 100 | 269 | 100 | 2494 | 100 | 1079 | 100 |
| из них в возрасте (полных лет): до 29 лет (включительно) | 402 | 663 | 11,4 | 283 | 12,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114 | 4,5 | 42 | 3,9 |
| 30 – 39 лет | 403 | 839 | 14,5 | 335 | 15,0 | 15 | 1,3 | 3 | 1,1 | 475 | 19,1 | 208 | 19,3 |
| 40 – 49 лет | 404 | 732 | 12,6 | 307 | 13,7 | 83 | 7,0 | 14 | 5,2 | 406 | 16,3 | 196 | 18,2 |
| 50 – 54 лет | 405 | 592 | 10,2 | 263 | 11,7 | 116 | 9,8 | 25 | 9,3 | 263 | 10,5 | 124 | 11,5 |
| 55 – 59 лет | 406 | 631 | 10,9 | 235 | 10,5 | 171 | 14,5 | 36 | 13,4 | 255 | 10,2 | 102 | 9,5 |
| 60 – 69 лет | 407 | 1224 | 21,1 | 435 | 19,4 | 329 | 27,9 | 68 | 25,3 | 530 | 21,3 | 220 | 20,3 |
| 70 и более | 408 | 1122 | 19,3 | 382 | 17,1 | 464 | 39,5 | 123 | 45,7 | 451 | 18,1 | 187 | 17,3 |

Таблица 10.11 – Возрастная структура работников, выполнявших научные исследования и разработки, по полу в 2011 году

| | Численность исследователей | | | | в том числе имеют ученую степень | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----|----------------|------|----------------------------------|------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
| | | | | | доктора наук | | | | кандидата наук | | | |
| | всего | | из них женщины | | всего | | из них женщины | | всего | | из них женщины | |
| | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % |
| Всего | 5803 | 100 | 2240 | 38,6 | 1178 | 20,3 | 269 | 22,8 | 2494 | 43,0 | 1079 | 43,3 |
| до 29 лет | 663 | 100 | 283 | 41,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114 | 17,1 | 42 | 36,8 |
| 30 – 39 лет | 839 | 100 | 335 | 40,0 | 15 | 1,8 | 3 | 20 | 475 | 56,6 | 208 | 43,8 |
| 40 – 49 лет | 732 | 100 | 307 | 4,2 | 83 | 11,3 | 14 | 16,9 | 406 | 55,5 | 196 | 26,1 |
| 50 – 54 лет | 592 | 100 | 263 | 44,4 | 116 | 19,6 | 25 | 21,6 | 263 | 44,4 | 124 | 47,1 |
| 55 – 59 лет | 631 | 100 | 235 | 37,2 | 171 | 27,1 | 36 | 21,1 | 255 | 40,4 | 102 | 40,0 |
| 60 – 69 лет | 1224 | 100 | 435 | 35,5 | 329 | 26,9 | 68 | 20,1 | 530 | 87,5 | 220 | 41,5 |
| 70 и более | 1122 | 100 | 382 | 34,0 | 464 | 41,4 | 123 | 26,5 | 451 | 40,2 | 187 | 41,4 |

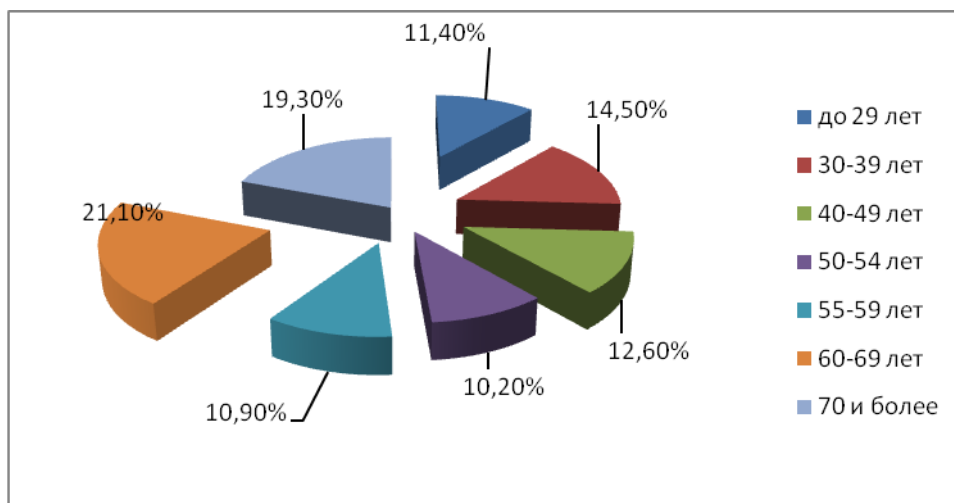


Рисунок 10.8 – Возрастная структура исследователей в 2011 году

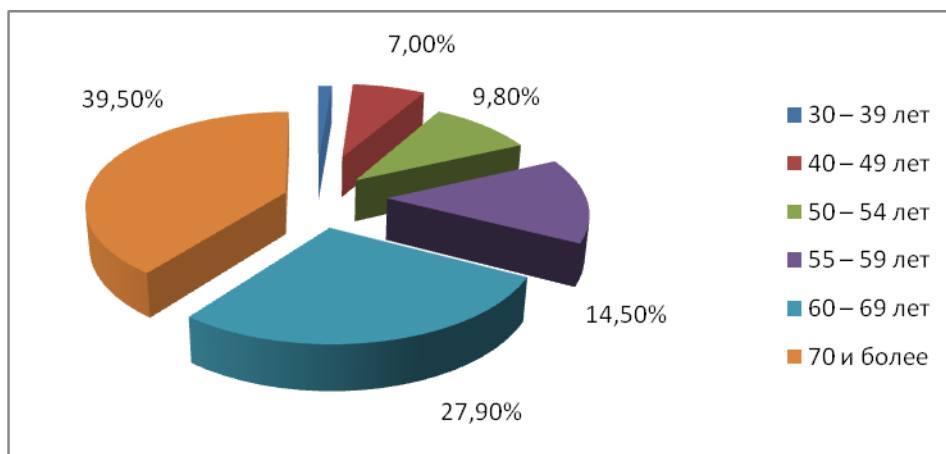


Рисунок 10.9 – Возрастная структура докторов наук в 2011 году

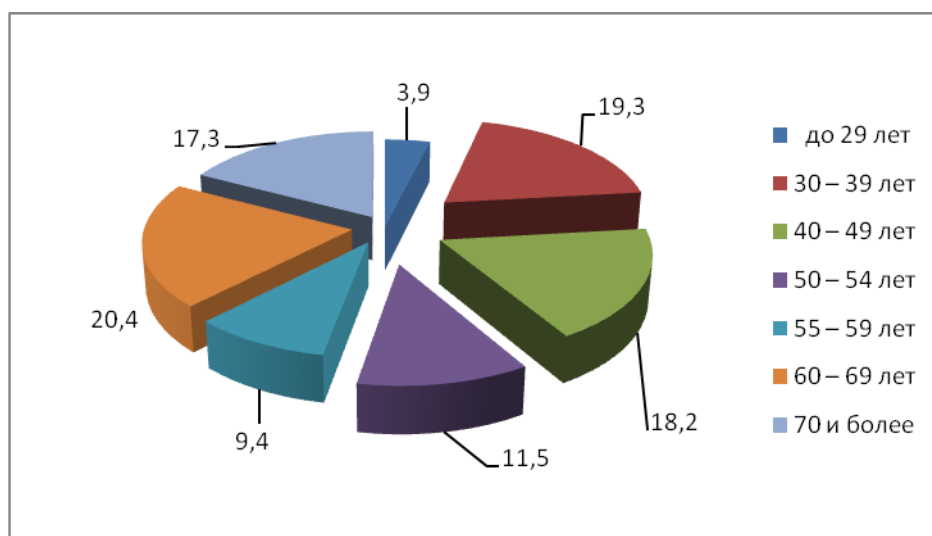


Рисунок 10.10 – Возрастная структура кандидатов наук в 2011 году

Таблица 10.12 – Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по полу и возрасту за период 2006-2011 гг. (чел.)

| Показатели по годам | Общая численность исследователей | | | | | | Число женщин в общей численности | | | | | | Число докторов наук | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 5745 | 5486 | 5412 | 5562 | 5635 | 5803 | 2303 | 2156 | 1907 | 2303 | 2223 | 2240 | 1110 | 1044 | 1114 | 1146 | 1157 | 1178 |
| до 29 лет | 504 | 474 | 662 | 662 | 662 | 663 | 213 | 194 | 215 | 261 | 262 | 283 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| +30 – 39 лет | 843 | 809 | 733 | 798 | 809 | 839 | 357 | 330 | 279 | 319 | 302 | 335 | 20 | 9 | 33 | 32 | 15 | 15 |
| 40 – 49 лет | 946 | 903 | 770 | 730 | 702 | 732 | 404 | 380 | 320 | 318 | 301 | 307 | 102 | 97 | 96 | 86 | 70 | 83 |
| 50 – 54 лет | 706 | 684 | 601 | 597 | 595 | 592 | 271 | 258 | 205 | 234 | 225 | 263 | 111 | 108 | 119 | 100 | 87 | 116 |
| 55 – 59 лет | 795 | 762 | 652 | 640 | 639 | 631 | 286 | 266 | 226 | 246 | 234 | 235 | 183 | 174 | 172 | 172 | 172 | 171 |
| 60 – 69 лет | 1223 | 1160 | 1161 | 1101 | 1224 | 1224 | 511 | 461 | 427 | 517 | 504 | 435 | 343 | 323 | 318 | 318 | 316 | 329 |
| 70 и более | 728 | 694 | 833 | 884 | 1004 | 1122 | 261 | 247 | 235 | 408 | 395 | 382 | 351 | 333 | 376 | 406 | 497 | 464 |
| Показатели по годам | Число женщин-докторов наук | | | | | | Число кандидатов наук | | | | | | Число женщин-кандидатов наук | | | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 251 | 230 | 224 | 262 | 262 | 269 | 2483 | 2350 | 2447 | 2470 | 2486 | 2494 | 1031 | 949 | 929 | 1059 | 1062 | 1079 |
| до 2 лет | | 2 | х | | | 0 | 90 | 81 | 130 | 114 | 114 | 114 | 36 | 30 | 29 | 42 | 42 | 42 |
| 30 – 39 лет | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 428 | 411 | 444 | 550 | 559 | 475 | 169 | 158 | 170 | 175 | 278 | 208 |
| 40 – 49 лет | 17 | 16 | 14 | 17 | 17 | 14 | 492 | 463 | 406 | 429 | 431 | 406 | 195 | 178 | 172 | 172 | 172 | 196 |
| 50 – 54 лет | 30 | 28 | 15 | 19 | 20 | 25 | 333 | 315 | 281 | 227 | 217 | 263 | 123 | 113 | 103 | 122 | 122 | 124 |
| 55 – 59 лет | 38 | 35 | 35 | 36 | 36 | 36 | 375 | 359 | 318 | 213 | 203 | 255 | 169 | 160 | 131 | 93 | 93 | 102 |
| 60 – 69 лет | 74 | 70 | 65 | 78 | 73 | 68 | 521 | 483 | 535 | 561 | 581 | 530 | 242 | 218 | 210 | 216 | 216 | 220 |
| 70 и более | 89 | 78 | 92 | 109 | 113 | 123 | 244 | 238 | 333 | 376 | 381 | 451 | 97 | 94 | 114 | 139 | 139 | 187 |

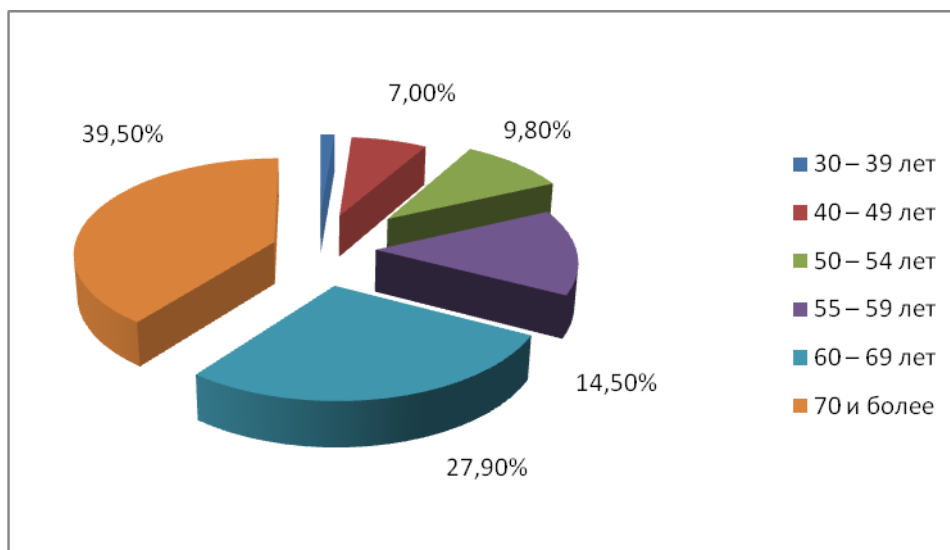


Рисунок 10.11 – Возрастная структура исследователей в 2006 году

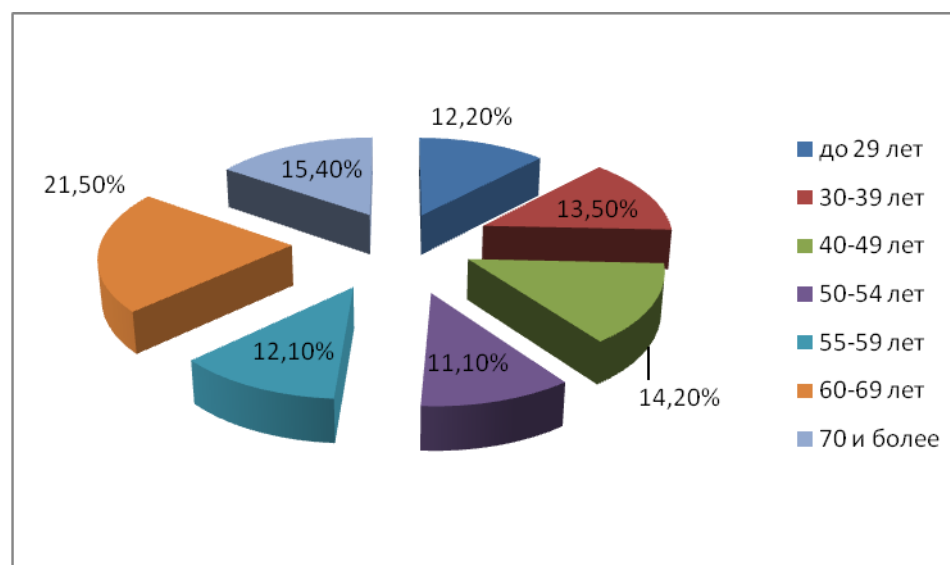


Рисунок 10.12 – Возрастная структура исследователей в 2008 году

10.2.5 Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по областям науки

Структура исследователей по областям наук по состоянию на 01.01.2012 г. приведена в таблицах 10.13а и 10.13б. Общая доля исследователей, имеющих научную степень, составляет 63,3%.

Таблица 10.13а – Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по областям науки за 2011 год

| 1 | № строки | Численность исследователей | | | | из них имеют ученую степень | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------------------------|------|----------------|------|-----------------------------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|---|---|--|
| | | всего | | из них женщины | | доктора наук | | | | кандидата наук | | | | | | | |
| | | чел. | | % | | чел. | | % | | чел. | | % | | чел. | | % | |
| | | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | | | | | |
| Всего (сумма строк 302, 308-311, 319) | 301 | 5803 | 100 | 2240 | 100 | 1178 | 100 | 269 | 100 | 2494 | 100 | 1079 | 100 | | | | |
| в том числе по областям науки: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Естественные науки (сумма строк 303-307) | 302 | 4613 | 79,6 | 1717 | 76,8 | 851 | 72,4 | 177 | 65,9 | 1969 | 79,0 | 807 | 74,8 | | | | |
| математика, механика | 303 | 250 | 4,3 | 43 | 2,0 | 83 | 7,1 | 5 | 1,8 | 95 | 3,8 | 18 | 1,7 | | | | |
| физика, астрономия | 304 | 2431 | 42,0 | 552 | 24,7 | 390 | 33,4 | 44 | 16,4 | 937 | 37,6 | 215 | 20,0 | | | | |
| химия, фармацевтическая химия | 305 | 389 | 6,7 | 256 | 11,4 | 46 | 3,9 | 15 | 5,6 | 164 | 6,6 | 103 | 9,5 | | | | |
| биология, психофизиология | 306 | 1362 | 23,5 | 801 | 35,7 | 279 | 23,6 | 104 | 38,8 | 688 | 27,6 | 437 | 40,4 | | | | |
| науки о Земле (кроме экономической, социальной и политической географии) | 307 | 181 | 3,1 | 65 | 3,0 | 53 | 4,4 | 9 | 3,3 | 85 | 3,4 | 34 | 3,2 | | | | |
| Технические науки | 308 | 326 | 5,6 | 86 | 4,0 | 80 | 6,8 | 5 | 1,8 | 109 | 4,4 | 25 | 2,3 | | | | |
| Медицинские науки | 309 | 59 | 1,0 | 24 | 1,1 | 24 | 2,0 | 5 | 1,8 | 32 | 1,3 | 17 | 1,6 | | | | |
| Сельскохозяйственные науки | 310 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0,2 | 3 | 0,2 | | | | |
| Общественные науки (сумма строк 312-318) | 311 | 156 | 2,7 | 90 | 4,0 | 28 | 2,2 | 9 | 3,4 | 79 | 3,1 | 46 | 4,3 | | | | |
| экономика (кроме экономики сельского хозяйства) | 312 | 80 | 1,4 | 43 | 1,9 | 21 | 2,0 | 6 | 2,2 | 40 | 1,6 | 21 | 1,9 | | | | |

| Продолжение таблицы 10.13а | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|------|-----|------|-----|------|----|------|-----|------|-----|------|
| юридические науки | 313 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| педагогические науки | 314 | 14 | 0,2 | 11 | 0,5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0,5 | 11 | 1,1 |
| психология (кроме психофизиологии) | 315 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| социология | 316 | 60 | 1,1 | 34 | 1,6 | 6 | 0,2 | 3 | 1,2 | 26 | 1,0 | 14 | 1,3 |
| политические науки | 317 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| другие общественные науки | 318 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Гуманитарные науки (сумма строк 320-324) | 319 | 646 | 11,1 | 320 | 14,2 | 195 | 16,6 | 73 | 27,1 | 300 | 12,0 | 181 | 16,8 |
| история | 320 | 346 | 6,0 | 121 | 5,4 | 109 | 9,3 | 32 | 11,9 | 171 | 6,8 | 98 | 9,1 |
| философия | 321 | 4 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0,2 | 2 | 0,7 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| филология | 322 | 279 | 4,9 | 180 | 8,2 | 82 | 6,9 | 39 | 14,5 | 121 | 4,9 | 81 | 7,7 |
| искусствоведение, теория и история архитектуры | 323 | 15 | 0,2 | 15 | 0,6 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 6 | 0,3 | 0 | 0 |
| культурология | 324 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Таблица 10.13б Распределение исследователей, имеющих научную степень, по областям науки за 2011 год

| | № строки | Численность исследователей | | из них имеют ученую степень | | | |
|--|----------|----------------------------|-----|-----------------------------|------|----------------|------|
| | | всего | | доктора наук | | кандидата наук | |
| | | чел. | % | чел. | % | чел. | % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Всего (сумма строк 302, 308-311, 319) | 301 | 5803 | 100 | 1178 | 20,3 | 2494 | 43,0 |
| в том числе по областям науки: | | | | | | | |
| Естественные науки (сумма строк 303-307) | 302 | 4613 | 100 | 851 | 18,4 | 1969 | 42,7 |
| математика, механика | 303 | 250 | 100 | 83 | 33,2 | 95 | 38,0 |
| физика, астрономия | 304 | 2431 | 100 | 390 | 16,0 | 937 | 38,5 |
| химия, фармацевтическая химия | 305 | 389 | 100 | 46 | 11,8 | 164 | 42,2 |
| биология, психофизиология | 306 | 1362 | 100 | 279 | 20,5 | 688 | 50,5 |
| науки о Земле (кроме экономической, социальной и политической географии) | 307 | 181 | 100 | 53 | 29,3 | 85 | 47,0 |
| Технические науки | 308 | 326 | 100 | 80 | 24,5 | 109 | 33,4 |
| Медицинские науки | 309 | 59 | 100 | 24 | 40,7 | 32 | 54,2 |
| Сельскохозяйственные науки | 310 | 3 | 100 | 0 | 0 | 3 | 100 |
| Общественные науки (сумма строк 312-318) | 311 | 156 | 100 | 28 | 17,9 | 79 | 50,6 |
| экономика (кроме экономики сельского хозяйства) | 312 | 80 | 100 | 21 | 26,3 | 40 | 50,0 |
| юридические науки | 313 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| педагогические науки | 314 | 14 | 100 | 1 | 7,1 | 13 | 92,9 |
| психология (кроме психофизиологии) | 315 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Продолжение таблицы 10.13б | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|
| социология | 316 | 60 | 100 | 6 | 10,0 | 26 | 43,3 |
| политические науки | 317 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| другие общественные науки | 318 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Гуманитарные науки (сумма строк 320-324) | 319 | 646 | 100 | 195 | 30,2 | 300 | 46,4 |
| история | 320 | 346 | 100 | 109 | 31,5 | 171 | 49,4 |
| философия | 321 | 4 | 100 | 2 | 50 | 1 | 25 |
| филология | 322 | 279 | 100 | 82 | 29,4 | 121 | 43,3 |
| искусствоведение, теория и история архитектуры | 323 | 15 | 100 | 1 | 6,7 | 6 | 40 |
| культурология | 324 | 2 | 100 | 1 | 50 | 1 | 50 |

В общем числе исследователи в области естественных наук занимают самый высокий удельный вес – 79,6%; 11,1% приходится на исследователей в области гуманитарных наук; 5,6% составляют исследователи в области технических наук; общественные науки – 2,7%; медицинские науки – 1,0%, сельскохозяйственные – 0,01%.

1). Естественные науки:

Численность исследователей в области естественных наук по состоянию на 01.01.12 г составляет 4613 чел. На эту группу исследователей приходится 72,4% от общего числа докторов наук и 79% – кандидатов наук.

В составе естественных наук самый многочисленный исследовательский корпус. От общего числа исследователей, работающих в естественных науках, 42% составляют исследователи, работающие в области физики и астрономии; 23,5 % – исследователи в области биологии и психофизиологии; 6,7% – в химии и фармацевтической химии; 4,3% – в математике и механике; 3,1% – в науках о Земле.

Доли докторов наук в общем составе исследователей выглядят следующим образом:

- по естественным наукам в целом – 72,4%;
- математика, механика – 7,1%;
- науки о Земле – 4,4%;
- биология, психофизиология 23,6%;
- физика, астрономия – 33,4%;
- химия – 3,9%.

Доли кандидатов наук в общем составе исследователей составляют:

- по естественным наукам в целом – 79%;
- математика, механика – 3,8%;
- науки о Земле – 3,4%;
- биология, психофизиология – 27,6%;
- физика, астрономия – 37,6%;
- химия – 6,6%.

Исследователи, имеющие научную степень в области наук о Земле, составляют 76,3%, в области биологии, психофизиологии – 71%, в области математики, механики – 71,2%, в области физики, астрономии – 54,5% и в области химии – 54%.

2) Технические науки:

Исследователи, работающие в этой области, составляют 5,6% от общего числа исследователей. Количество докторов наук составляет 6,8% от общего числа докторов

наук и 24,5% от общей численности исследователей по этой группе. Количество кандидатов наук составляет 4,4% от общей численности кандидатов наук и 33,4% от числа исследователей по группе. Общий удельный вес исследователей, имеющих научную степень, составляя 57,9% от числа исследователей в этой группе.

3). Медицинские науки:

Исследователи, работающие в этой области, составляют 1,0 % от общего числа исследователей. Количество докторов наук составляет 2% от общего числа докторов наук и 40,7% от общей численности исследователей по этой группе. Количество кандидатов наук составляет 1,4% от общей численности кандидатов наук и 54,2% от числа исследователей по группе. Общий удельный вес исследователей, имеющих научную степень, составляет 94,9% от числа исследователей в этой группе.

4). Общественные науки:

Исследователи, работающие в этой области, составляют 2,7% от общего числа исследователей. Количество докторов наук составляет 2,2% от общего числа докторов наук и 17,9% от общей численности исследователей по этой группе. Количество кандидатов наук составляет 3,2% от общей численности кандидатов наук и 50,6% от числа исследователей по группе.

5). Гуманитарные науки:

Исследователи, работающие в этой области, составляют 11,4% от общего числа исследователей. Количество докторов наук составляет 13,2% от общего числа докторов наук и 14,7% от общей численности исследователей по этой группе. Количество кандидатов наук составляет 10,1% от общей численности кандидатов наук и 48,7% от числа исследователей по группе. Общий удельный вес исследователей, имеющих научную степень, составляет 63,4% от числа исследователей в этой группе.

В таблице 10.15 приводятся данные о распределении исследователей по областям наук за период 2006-2011 гг.

10.2.6 Распределение работников, выполняющих научные исследования и разработки, по отраслям науки

Формирование информации по отраслям наук (табл. 10.14) производилось на основании данных по областям наук (табл. 10.15). На рис. 13 представлено распределение исследователей по отраслям науки в 2011 году. Информация о распределении численности исследователей в количественном и долевым представлении за весь исследуемый период размещена в таблице 10.16.

Таблица 10.14 – Отрасли и области науки по специализации исследователей

| Шифр отрасли | Наименование отраслей науки | № строки в статистической форме 3 | Наименование областей науки |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|
| 01 | Физико-математические науки | 303 304 | Математика, механика Физика, астрономия |
| 02 | Химия | 305 | Химия, фармацевтическая химия |
| 03 | Биология | 306 | Биология, психофизиология |
| 05 | Технические | 308 | Технические науки |
| 07 | История | 320 320 324 | История Искусствоведение, теория и история архитектуры Культурология |
| 08 | Экономика | 312 313 318 | Экономика кроме экономики сельского хозяйства Юридические науки Другие общественные науки |
| 09 | | 321 | Философия |
| 10 | Филология | 322 | Филология |
| 11 | География | | |
| 14 | Медицина | 309 310 | Медицинские науки Сельскохозяйственные науки |
| | Психология | 314 315 | Педагогические науки Психология (кроме психофизиологии) |
| 22 | Социология | 316 | Социология |
| 25 | Науки о Земле | 307 | Науки о Земле (кроме экономической, социальной и политической географии) |

Таблица 10.15 – Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по областям науки за период 2006–2011 гг. чел.)

| Показатели по годам | Общая численность | | | | | | Число женщин в общей численности | | | | | | Число докторов наук | | | | | |
|--|-------------------|------|------|------|------|------|----------------------------------|------|-------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 5745 | 5486 | 5412 | 5562 | 5635 | 5803 | 2303 | 2156 | 1907 | 2303 | 2223 | 2240 | 1110 | 1044 | 1114 | 1146 | 1157 | 1178 |
| Естественные науки: | 4611 | 4351 | 4469 | 4407 | 4480 | 4613 | 1826 | 1679 | 1586 | 1826 | 1676 | 1717 | 858 | 792 | 847 | 836 | 844 | 851 |
| математика, механика | 247 | 247 | 177 | 240 | 240 | 250 | 49 | 49 | 15 | 49 | 40 | 43 | 80 | 80 | 32 | 103 | 81 | 83 |
| физика, астрономия | 2434 | 2432 | 2363 | 2339 | 2369 | 2431 | 675 | 675 | 519 | 675 | 538 | 551 | 392 | 392 | 414 | 393 | 393 | 394 |
| химия, фармацевтическая химия | 423 | 421 | 390 | 395 | 403 | 389 | 260 | 259 | 217 | 260 | 241 | 256 | 102 | 102 | 64 | 51 | 51 | 46 |
| биология, психофизиология | 1348 | 1091 | 1385 | 1321 | 1324 | 1362 | 761 | 615 | 799 | 761 | 806 | 801 | 265 | 199 | 291 | 275 | 275 | 279 |
| науки о Земле (кроме экономической, социальной и политической географии) | 159 | 159 | 154 | 112 | 144 | 181 | 81 | 81 | 36 | 81 | 50 | 65 | 19 | 19 | 46 | 56 | 44 | 53 |
| Технические науки | 365 | 365 | 276 | 330 | 330 | 326 | 101 | 101 | 36 | 101 | 80 | 86 | 58 | 58 | 79 | 79 | 79 | 80 |
| Медицинские науки | 2 | 2 | 49 | 58 | 58 | 59 | 2 | 2 | 16 | 25 | 25 | 24 | 0 | 0 | 19 | 22 | 22 | 24 |
| Сельскохозяйственные науки | 3 | 3 | 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | | 0 | | |
| Общественные науки: | 180 | 180 | 104 | 141 | 141 | 156 | 106 | 106 | 40 | 106 | 80 | 90 | 27 | 27 | 23 | 27 | 26 | 28 |
| экономика (кроме экономики сельского хозяйства) | 67 | 67 | 35 | 75 | 75 | 80 | 35 | 35 | 10 | 35 | 43 | 43 | 16 | 16 | 11 | 16 | 20 | 21 |
| юридические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| педагогические науки | 2 | 2 | 0 | 14 | 14 | 14 | 2 | 2 | 0 | 2 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|
| психология (кроме психофизиологии) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| социология | 60 | 60 | 69 | 51 | 51 | 60 | 31 | 31 | 30 | 31 | 25 | 34 | 7 | 7 | 12 | 7 | 5 | 6 |
| политические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| другие общественные науки | 51 | 51 | 0 | 1 | 1 | 1 | 37 | 37 | 0 | 37 | 1 | 1 | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| Гуманитарные науки: | 584 | 584 | 507 | 623 | 623 | 646 | 245 | 245 | 227 | 245 | 344 | 320 | 167 | 167 | 146 | 183 | 183 | 195 |
| история | 305 | 305 | 307 | 344 | 344 | 346 | 70 | 70 | 118 | 70 | 154 | 121 | 83 | 83 | 85 | 104 | 104 | 109 |
| философия | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| филология | 265 | 265 | 181 | 263 | 263 | 279 | 163 | 163 | 99 | 163 | 175 | 182 | 82 | 82 | 59 | 77 | 77 | 82 |
| искусствоведение, теория и история архитектуры | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| культурология | 10 | 10 | 13 | 6 | 6 | 2 | 9 | 9 | 8 | 9 | 6 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Показатели по годам | <i>Число женщин-докторов наук</i> | | | | | | <i>Число кандидатов наук</i> | | | | | | <i>Число женщин-кандидатов наук</i> | | | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 251 | 230 | 224 | 262 | 262 | 269 | 2483 | 2350 | 2447 | 2470 | 2486 | 2494 | 1031 | 949 | 929 | 1059 | 1062 | 1079 |
| Естественные науки: | 186 | 165 | 175 | 175 | 175 | 177 | 2059 | 1926 | 2018 | 1958 | 1974 | 1969 | 833 | 751 | 764 | 812 | 815 | 807 |
| математика, механика | 4 | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 105 | 105 | 88 | 97 | 97 | 95 | 22 | 22 | 12 | 22 | 21 | 18 |
| физика, астрономия | 46 | 46 | 62 | 44 | 44 | 44 | 1013 | 1013 | 980 | 958 | 961 | 937 | 238 | 238 | 201 | 238 | 215 | 215 |
| химия, фармацевтическая химия | 16 | 16 | 13 | 17 | 17 | 15 | 160 | 158 | 157 | 163 | 163 | 164 | 93 | 92 | 86 | 93 | 103 | 103 |
| биология, психофизиология | 109 | 88 | 94 | 104 | 104 | 104 | 702 | 571 | 708 | 877 | 677 | 688 | 445 | 364 | 442 | 445 | 448 | 437 |
| науки о Земле (кроме экономической, соци- | 11 | 11 | 5 | 5 | 5 | 9 | 79 | 79 | 85 | 57 | 76 | 85 | 35 | 35 | 23 | 35 | 28 | 34 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| альной и политической географии) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Технические науки | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 107 | 107 | 120 | 111 | 111 | 109 | 20 | 20 | 27 | 21 | 21 | 25 |
| Медицинские науки | 0 | 0 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 21 | 31 | 31 | 32 | 2 | 2 | 13 | 20 | 20 | 17 |
| Сельскохозяйственные науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Общественные науки: | 6 | 6 | 4 | 6 | 6 | 9 | 93 | 93 | 39 | | 73 | 79 | 56 | 56 | 14 | 56 | 40 | 46 |
| экономика (кроме экономики сельского хозяйства) | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 | 6 | 34 | 34 | 10 | 34 | 40 | 40 | 20 | 20 | 3 | 20 | 19 | 21 |
| юридические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| педагогические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 12 | 13 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10 | 11 |
| психология (кроме психофизиологии) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| социология | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 29 | 29 | 29 | 29 | 21 | 26 | 12 | 12 | 11 | 12 | 11 | 14 |
| политические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| другие общественные науки | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 29 | 29 | 0 | 29 | 0 | 0 | 23 | 23 | 0 | 23 | 0 | 0 |
| Гуманитарные науки | 54 | 54 | 37 | 54 | 71 | 73 | 219 | 219 | 247 | 219 | 294 | 300 | 118 | 118 | 109 | 118 | 163 | 181 |
| история | 22 | 22 | 17 | 22 | 31 | 32 | 112 | 112 | 179 | 112 | 169 | 171 | 51 | 51 | 70 | 51 | 75 | 99 |
| философия | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| филология | 31 | 31 | 19 | 31 | 38 | 39 | 104 | 104 | 66 | 104 | 118 | 121 | 65 | 65 | 37 | 65 | 81 | 84 |
| искусствоведение, теория и история архитектуры | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | | 4 | 6 |
| культурология | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Таблица 10.16 – Распределение работников, выполнявших научные исследования и разработки, по отраслям науки за период 2006–2011 гг.

| № по классиф. | Наименование наук | 2006 | | 2007 | | 2008 | | 2009 | | 2010 | | 2011 | |
|---------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % | чел. | % |
| 01 | Физико-математические науки | 2681 | 46,7 | 2685 | 46,5 | 2679 | 46,6 | 2579 | 46,4 | 2609 | 46,3 | 2681 | 46,3 |
| 02 | Химия | 423 | 7,4 | 390 | 6,8 | 421 | 7,3 | 395 | 7,1 | 403 | 7,2 | 389 | 6,7 |
| 03 | Биология | 1348 | 23,5 | 1385 | 23,9 | 1351 | 23,5 | 1321 | 23,7 | 1324 | 23,5 | 1362 | 23,6 |
| 05 | Технические науки | 365 | 6,3 | 366 | 6,4 | 365 | 6,4 | 330 | 5,8 | 330 | 5,9 | 326 | 5,6 |
| 07 | История | 315 | 5,5 | 320 | 5,6 | 315 | 5,5 | 356 | 6,5 | 356 | 6,4 | 361 | 6,2 |
| 08 | Экономика | 67 | 1,2 | 68 | 1,2 | 69 | 1,2 | 76 | 1,4 | 76 | 1,3 | 84 | 1,4 |
| 09 | Философия | 4 | 0,1 | 6 | 0,1 | 4 | 0,1 | 4 | 0,1 | 4 | 0,1 | 4 | 0,1 |
| 10 | Филология | 265 | 4,6 | 266 | 4,6 | 265 | 4,6 | 263 | 4,7 | 263 | 4,7 | 279 | 4,8 |
| 11 | География | 00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Медицина | 56 | 1,0 | 56 | 1,0 | 56 | 1,0 | 61 | 1,1 | 61 | 1,1 | 62 | 1,0 |
| 19 | Психология | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 14 | 0,3 | 14 | 0,2 | 14 | 0,2 |
| 22 | Социология | 60 | 1,0 | 69 | 1,2 | 60 | 1,0 | 51 | 0,9 | 51 | 0,9 | 60 | 1,0 |
| 25 | Науки о Земле | 159 | 2,7 | 154 | 2,7 | 159 | 2,8 | 112 | 2,0 | 144 | 2,4 | 181 | 3,1 |
| | ИТОГО | 5745 | 100 | 5762 | 100 | 5746 | 100 | 5562 | 100 | 5635 | 100 | 5803 | 100 |

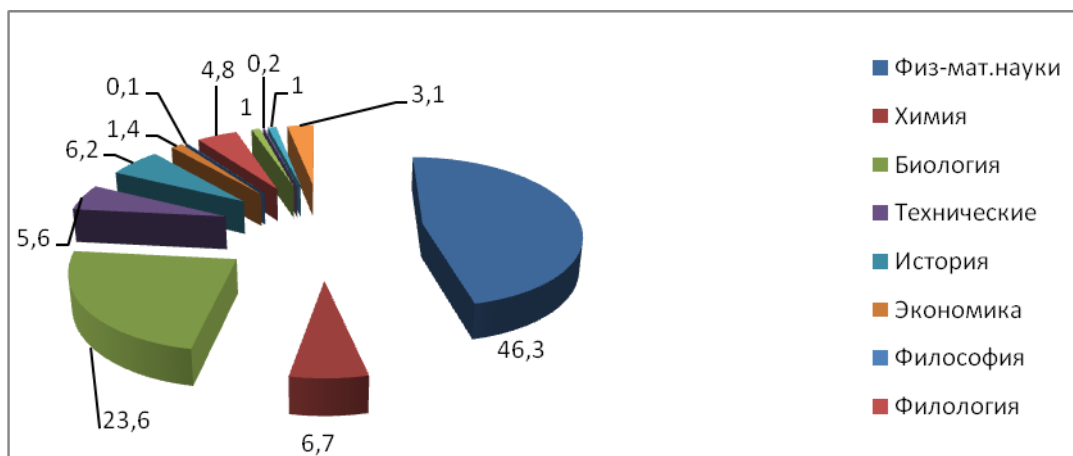


Рисунок 10.13 – Структура распределения исследователей по отраслям науки в 2011 году (%)

Данные табл. 10.16 показывают, что самый высокий удельный вес в составе исследователей – 69,9% – приходится на исследователей таких отраслей науки, как физико-технические (46,3%) и биологические науки (23,6%). Их численность незначительно претерпела изменения в течение исследуемого периода. По химической науке в 2011 году по сравнению с 2006 годом число исследователей сократилось на 24 чел., а их доля в общей численности исследователей – на 0,7%. Произошло сокращение численности исследователей по техническим наукам: на 39 чел. и на 0,7%. Увеличилось количество и доля исследователей-историков: на 46 чел. и на 0,7% соответственно. Представляет интерес динамика по годам изменения числа исследователей в отрасли наук о земле: при сокращении численности по предшествующим годам в 2011 году она увеличивается на 37 чел. или на 0,7%. На 0,2% увеличилось количество исследователей в отраслях экономической и филологической наук.

10.3 Затраты на научные исследования и разработки

10.3.1 Затраты на научные исследования и разработки по статьям расходов

По состоянию на 01.01.2012 г. затраты на научные исследования и разработки составляют 6438096,7 тыс. руб. (табл. 10.17), что превышает в 2 раза аналогичные затраты в 2006 году (3215792,1 тыс. руб.). Структура затрат на научные исследования и разработки по областям науки и структура исследователей по областям науки различается. Так, доля исследователей в области естественных наук имеет самый высокий удельный вес – 79,5% (4613 из 5803 чел.) а доля затрат составляет всего 73,7%. Доля исследователей в области гуманитарных наук – 11,5%, а доля затрат – 13,6%; доля исследователей в области технических наук – 6,2,0%, а доля затрат – 11,4%. Следует заметить, что несовпадение структуры исследователей и структуры затрат может быть объяснено особенностями условий исследований в разных областях науки, что важно учитывать при разработке перспективных стратегий развития науки.

Структура затрат в 2011 г. по статьям расходов (рис. 10.14) сложилась следующим образом: затраты на оплату труда – 58,1%; социальный налог – 16%; затраты на оборудование – 3,7%; другие материальные затраты – 6,5%; прочие – 15,7%. Следует отметить весьма низкий уровень затрат на приобретение оборудования (3,7%) и высокий уровень прочих затрат (15,7%). Структуры затрат в 2011 году и в 2008 году (рис. 10.14, 10.15) различаются: возросла доля затрат на зарплату (с 44,35 до 58,1%). Следует отметить, что доля затрат на зарплату на всех уровнях организации РАН превышает 60%. Например, средняя по отделениям – 62,7%, по региональным научным центрам – 65,9%. Почти в 3 раза сократилась доля затрат на приобретение оборудования (с 10,4% до 3,7%); изменилась доля и других статей расходов. Эти тенденции объясняются реализацией в 2007–2009 гг. пилотного проекта. В соответствии с этим проектом средняя оплата труда работников в 2011 году составляла 25,0 тыс. руб. в месяц, что на 14% выше средней оплаты труда в 2008 году (21,9 тыс. руб.) и в 2,7 раза выше средней оплаты труда в 2006 году, которая составляла 9,1 тыс. руб. Затраты на одного работника в 2011 году составили 637,8 тыс. руб., что на 15% выше затрат в 2008 г., которые составили 554,7 тыс. руб., и в 2 раза выше затрат в 2006 году.

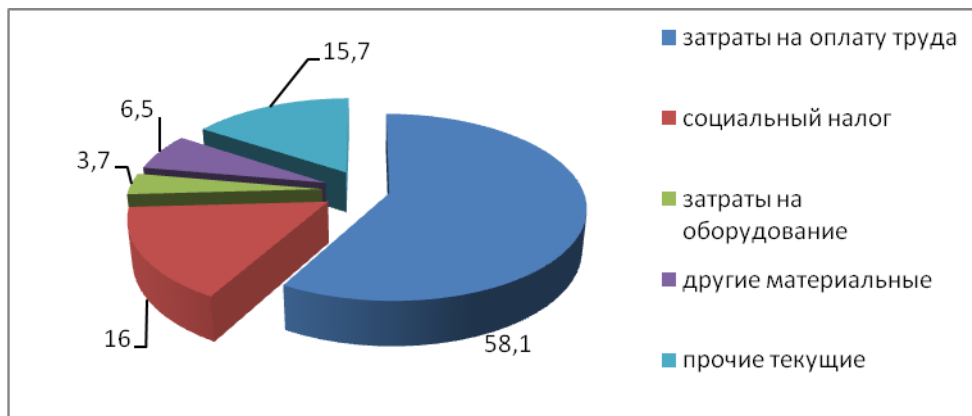


Рисунок 10.14 – Структура затрат по статьям расходов в 2011 году (%)

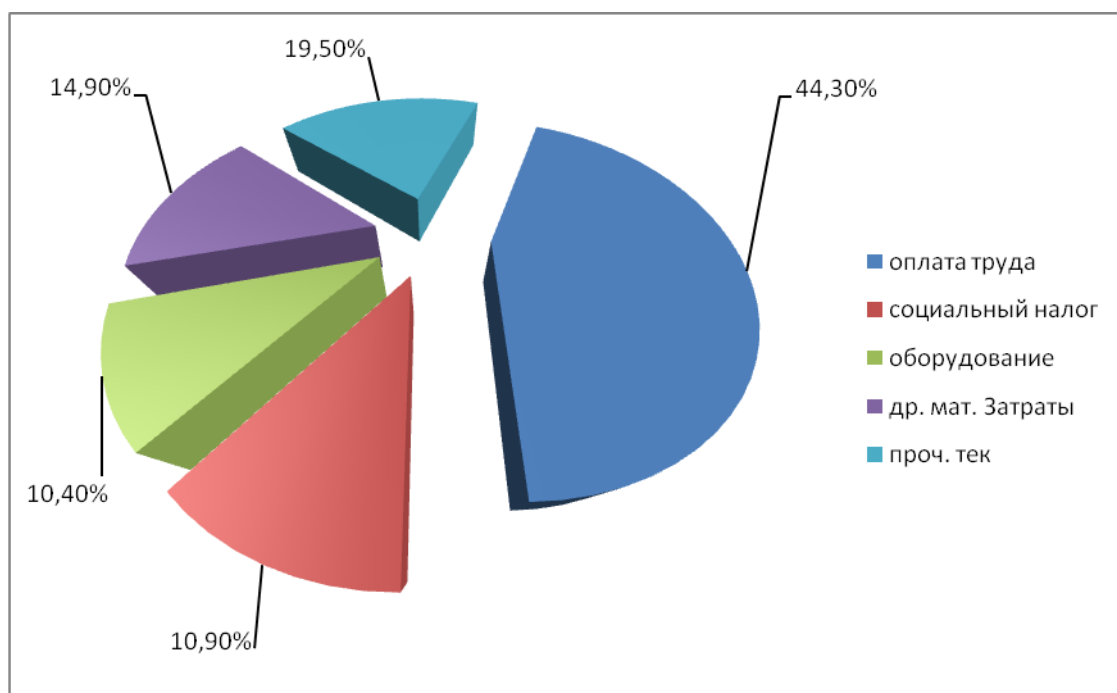


Рисунок 10.15 – Структура затрат по статьям расходов в 2008 году

Таблица 10.17 – Затраты на научные исследования и разработки за 2011 год (тыс. руб.)

| | № строки | Всего | в том числе по областям науки: | | | | | |
|--|----------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|----------------------|--------------|--------------|
| | | | естественные | технические | медицинские | сельскохозяйственные | общественные | гуманитарные |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Затраты на научные исследования и разработки – всего (сумма строк 502, 515) | 501 | 6 438 096,7 | 4744703 | 733 429,5 | 550,0 | 3 262,6 | 80600,1 | 875 551,5 |
| в том числе: внутренние затраты на научные исследования и разработки – всего (сумма строк 503, 511) | 502 | 6 005 747,7 | 4415268,0 | 632 833,7 | 550,0 | 3 138,1 | 79 906,7 | 874 051,2 |
| внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки (сумма строк 504, 506, 507, 509, 510) | 503 | 5 826 189,4 | 4247412,0 | 626 468,2 | 550,0 | 3 138,1 | 77 721,4 | 870 899,7 |
| Затраты на оплату труда | 504 | 3 383 070,0 | 2437602,1 | 394 703,5 | 173,5 | 2 017,2 | 47 873,8 | 500 669,9 |
| в том числе: работникам, выполнявшим научные исследования и разработки без совместителей | 505 | 3 035 506,6 | 2171692,3 | 347 849,7 | 173,5 | 2 002,4 | 45 192,9 | 468595,8 |
| Единый социальный налог | 506 | 937 689,5 | 667 532,4 | 72 210,30 | 57,40 | 600,50 | 14 335,5 | 129 809,5 |
| Затраты на оборудование | 507 | 205 153,4 | 153353,5 | 34 720,9 | 0 | 10,0 | 2 048,0 | 15 345,7 |
| в том числе на основные фонды | 508 | 185271,6 | 137793,0 | 34 460,3 | 0 | 10,0 | 85,0 | 12 923,3 |

| | | | | | | | | |
|---|-----|--------------|-----------|-----------|-------|---------|----------|-----------|
| другие материальные затраты | 509 | 378 001,1 | 261971,6 | 61 270,0 | 288,9 | 78,9 | 5 957,9 | 48 433,8 |
| прочие текущие затраты | 510 | 922275,5 | 699234,3 | 63 330,3 | 30,2 | 431,5 | 7 448,8 | 151 800,4 |
| Капитальные затраты на научные исследования и разработки (сумма строк 512-514) | 511 | 175 526,5 | 166 100,8 | 6 599,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2825,0 |
| в том числе: земельные участки и здания | 512 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| оборудование | 513 | 120 709,6 | 113 044,0 | 4 839,7 | 0 | 0 | 0 | 2 825,9 |
| прочие капитальные затраты | 514 | 54816,8 | 53056,8 | 1 760,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Внешние затраты на научные исследования и разработки | 515 | 391 205,1 | 287 364,0 | 100 595,8 | 0 | 124,5 | 720,5 | 1 500,3 |
| Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки по видам работ (сумма строк 516-518 равна строке 503) | | 5 826 189,45 | 4247412,0 | 626 468,2 | 550,0 | 3 138,1 | 77 721,4 | 870 899,7 |
| в том числе: фундаментальные исследования | 516 | 4838295,0 | 3332754,7 | 555294,4 | 0 | 2 353,7 | 76 936,9 | 806 485,6 |
| прикладные исследования | 517 | 656166,4 | 587618,0 | 67 920,8 | 0 | 313,8 | 313,8 | 0 |
| разработки | 518 | 331 783,6 | 327 039,3 | 3 253,0 | 550,0 | 470,6 | 470,7 | 0 |

10.3.2 Затраты на научные исследования и разработки по видам работ

Затраты по каждому виду работ, т.е. на фундаментальные исследования и на прикладные исследования и разработки в абсолютном значении имеют положительную динамику (табл. 10.18). Однако их структура претерпела существенные изменения. Так, к 2011 году (рис.16) увеличилась доля затрат на фундаментальные исследования. Она составляет в этом году 83% по сравнению с 76,5% в 2006 г. и 81,9% в 2008 г.

Доля затрат на прикладные исследования в 2011 году составила 11,6%, в 2008 г. – 13,1%, в 2006 г. – 11,8%. Существенно изменилась и доля затрат на разработки. Так, в 2011 году доля затрат на разработки составила 5,4%, в 2008 г. она была 5%, а в 2006 г. она составляла 11,7%, т.е. сократилась более, чем в два раза. На наш взгляд, такое изменение должно вызвать тревогу, поскольку именно разработки позволяют доводить многие результаты фундаментального характера до более завершенного вида. Такое положение также подтверждается сокращением численности техников и их доли в общей численности на 15,8%.

Встает также вопрос, почему в области технических наук самый высокий показатель по фундаментальным исследованиям – 88,6% при среднем показателе 83% и самые низкие показатели по прикладным исследованиям и разработкам 10,8% и 0,6% при средних показателях 11,8% и 5,4% соответственно.

Таблица 10.18 – Затраты на научные исследования и разработки по видам работ за период 2006–2011 гг. (тыс. руб.)

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|------------------------------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|
| Фундаментальные исследования | 2085416 | 2287681,7 | 3907911,6 | 3 849 252,1 | 3 795 877,8 | 4838295,0 |
| Прикладные исследования | 320426,8 | 318166,8 | 625 960,4 | 702 120,3 | 1 078 822,6 | 656166,4 |
| Разработки | 221717,3 | 221217,3 | 237 639,1 | 328 115,0 | 393 427,3 | 331783,6 |

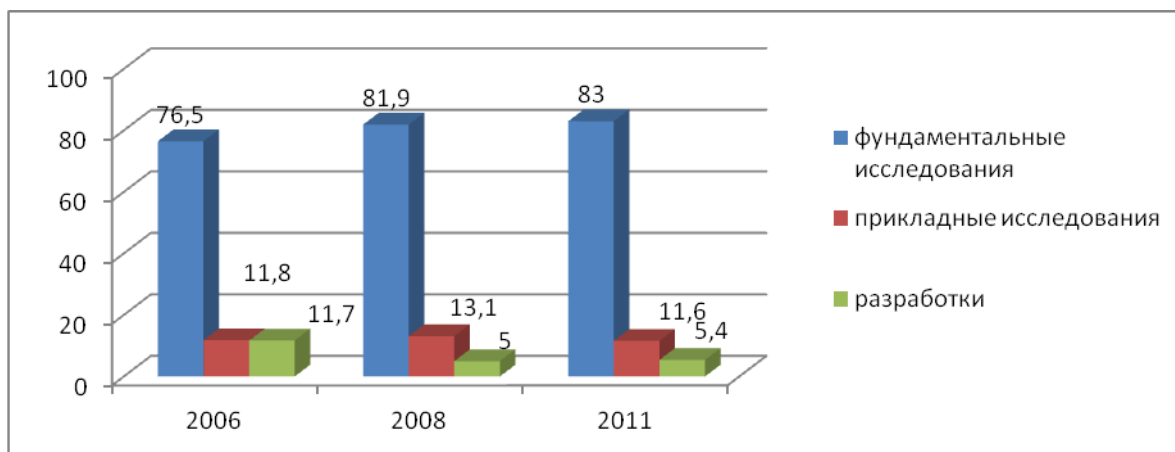


Рисунок 10.16 – Структура затрат по видам работ (%)

10.3.3 Источники финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки

Внутренние затраты на научные исследования и разработки (табл. 10.19) составляют: в 2011 году – 6005747,7 тыс.руб. (к 2008 году – 119%, к 2006 – 202%). В 2008 году эти затраты составили 5035763,9 тыс. руб., в 2006 – 2971891 тыс. руб.

По структуре финансируемых затрат (табл.10.20) самая большая доля в 2011 году приходится на естественные науки 73,5%. Эта доля ниже ее значения в 2008 году (74,2%) и в 2006 году (80,9%). Доля гуманитарных наук в 2011 г. – 14,6%, в 2008 – 12,5%, в 2006 г. – 10,9%, доля технических наук в 2011 г. – 10,5%, в 2008 – 12,3%, в 2006 – 7,2%. Доля затрат по гуманитарным наукам в 2011 году возросла по сравнению с показателями предшествующего периода. По техническим наукам по сравнению с показателями 2008 года доля сократилась, но относительно 2006 года она существенно увеличилась.

Структура источников финансирования отражена в табл. 10.20. Собственные средства институтов составляют 5,5%. Наибольшая доля приходится на средства бюджетов всех уровней – 80,4%, из них 99,7% составляют средства федерального бюджета и 0,3% – средства бюджетов других уровней. Средства внебюджетных фондов составляют 3,1%; средства организаций государственного сектора – 6,4%; средства организаций предпринимательского сектора – 2,9%; средства организаций сектора высшего образования – 0,5% и средства частных некоммерческих организаций 1,1%.

Таблица 10.19 – Структура распределение затрат по областям науки за период 2006–2011 гг. (%)

| Области науки | 2011 | 2008 | 2006 |
|----------------------|------------|------------|------------|
| Естественные | 73,5 | 74,2 | 80,9 |
| Технические | 10,5 | 12,3 | 7,2 |
| Медицинские | 0 | 0 | 0 |
| Сельскохозяйственные | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Общественные | 1,3 | 1,0 | 1,0 |
| Гуманитарные | 14,6 | 12,5 | 10,9 |
| ИТОГО | 100 | 100 | 100 |

Таблица 10.20 – Источники финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки (тыс. руб.)

| | № строки | Всего | | в том числе по областям науки: | | | | | |
|--|----------|-----------|------|--------------------------------|-------------|-------------|----------------------|--------------|--------------|
| | | тыс. руб. | % | естественные | технические | медицинские | сельскохозяйственные | общественные | гуманитарные |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки (сумма строк 602, 603, 606-612 равна строке 502) | 601 | 6005747,7 | 100 | 4415268,0 | 632833,7 | 550 | 3138,1 | 79906,7 | 874051,2 |
| в том числе по источникам финансирования: собственные средства | 602 | 332166,5 | | 189994,3 | 22725 | 0 | 0 | 0 | 119447,2 |
| средства бюджетов всех уровней (сумма строк 604, 605) | 603 | 4829871,2 | 80,3 | 3713907,4 | 427772,2 | 550 | 2788,2 | 78842,5 | 676352,5 |
| в том числе: федерального бюджета | 604 | 4815418,0 | 80,1 | 3711959,1 | 428473,7 | 550 | 2788,2 | 78609 | 691414,5 |
| бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов | 605 | 14453,2 | 0,2 | 1948,3 | 2298,5 | 0 | 0 | 233,5 | 9972,9 |
| бюджетные ассигнования на содержание вуза (сектор высшего образования) | 606 | 3492,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3492,2 |
| средства внебюджетных фондов | 607 | 188994,7 | 3,1 | 114446,1 | 32517,5 | 0 | 0 | 0 | 42031,1 |
| средства организаций государственного сектора (кроме учтенных по строкам 602-607) | 608 | 385303,2 | 6,4 | 326545,4 | 58742,3 | 0 | 0 | 0 | 15,5 |
| средства организаций предпринимательского сектора | 609 | 168049,1 | 2,9 | 89712,5 | 72249,7 | 0 | 313,5 | 977,8 | 940,9 |
| средства организаций сектора высшего образования | 610 | 27952,6 | 0,5 | 7177,6 | 16875 | 0 | 0 | 50 | 3850 |
| средства частных некоммерческих организаций | 611 | 1669,3 | 0 | 1669,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| средства иностранных источников (сумма строк 613-616) | 612 | 68248,9 | 1,1 | 42274,3 | 23016,9 | 0 | 36,4 | 36,4 | 2884,9 |
| в том числе средства: международных организаций | 613 | 26076,2 | 0 | 15435 | 10641,2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| государственных организаций зарубежных стран | 614 | 25236,2 | 0 | 24230,8 | 923,6 | 0 | 36,4 | 36,4 | 0 |
| организаций предпринимательского сектора зарубежных стран | 615 | 13052,2 | 0 | 1544,3 | 11452,1 | 0 | 0 | 0 | 55,8 |

Анализ структуры источников финансирования внебюджетного характера по областям науки показывает, что институты в области естественных наук занимают лидирующее положение по финансированию из всех внебюджетных источников: средства организаций государственного сектора, средства организаций предпринимательского сектора, средства организаций высшего образования, средства частных некоммерческих организаций и средства иностранных источников.

10.3.4 Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники

Сравнительный анализ данных таблицы 10.20 «Источники финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки» и данных таблицы 10.21 «Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники» показывает, что в 2011 году затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники составили 63,3%, в 2008 году – 43%, в 2006 году 42% от общего объема внутренних затрат. Такая ситуация может свидетельствовать о положительных тенденциях в участии институтов СПбНЦ РАН в развитии приоритетных направлений.

Таблица 20 – Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники

| | № строки | Всего | | из них финансируемые за счет средств: | |
|---|----------|-----------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| | | тыс. руб. | % | бюджетов всех уровней | в том числе: федерального бюджета |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники (из строки 502 гр.3) | 701 | 3807551,7 | 100 | 3197073,2 | 3140734,4 |
| из них: | | | | | |
| информационно-телекоммуникационные системы | 702 | 407031,0 | 10,7 | 347414,7 | 345176,2 |
| индустрия наносистем | 703 | 988393,0 | 26,0 | 800435,0 | 750396,4 |
| науки о жизни | 704 | 750396,4 | 19,7 | 717411,5 | 716095,6 |
| рациональное природопользование | 705 | 66027,0 | 1,7 | 59022,0 | 58620,5 |
| энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика | 706 | 1233397,8 | 32,4 | 999690,3 | 997646,0 |
| транспортные и космические системы | 707 | 362306,5 | 9,5 | 272799,7 | 272799,7 |

Данные таблицы 10.21 также позволяют судить об участии академического сектора науки Санкт-Петербурга в исследованиях по приоритетным направлениям развития и о долях по каждому направлению в 2011 году. Самый высокий удельный вес занимает энергетика, энергосбережение и ядерная энергетика – 32,4, второе место – 26 Индустрия наносистем и материалов, далее следуют направления: «живые системы» – 19,7%, информационно-телекоммуникационные системы – 10,7%, транспортные, авиационные и космические системы – 9,5% и рациональное природопользование – 1,7%.

На рис. 10.17 представлена структура внутренних затрат на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники по данным формы 7.

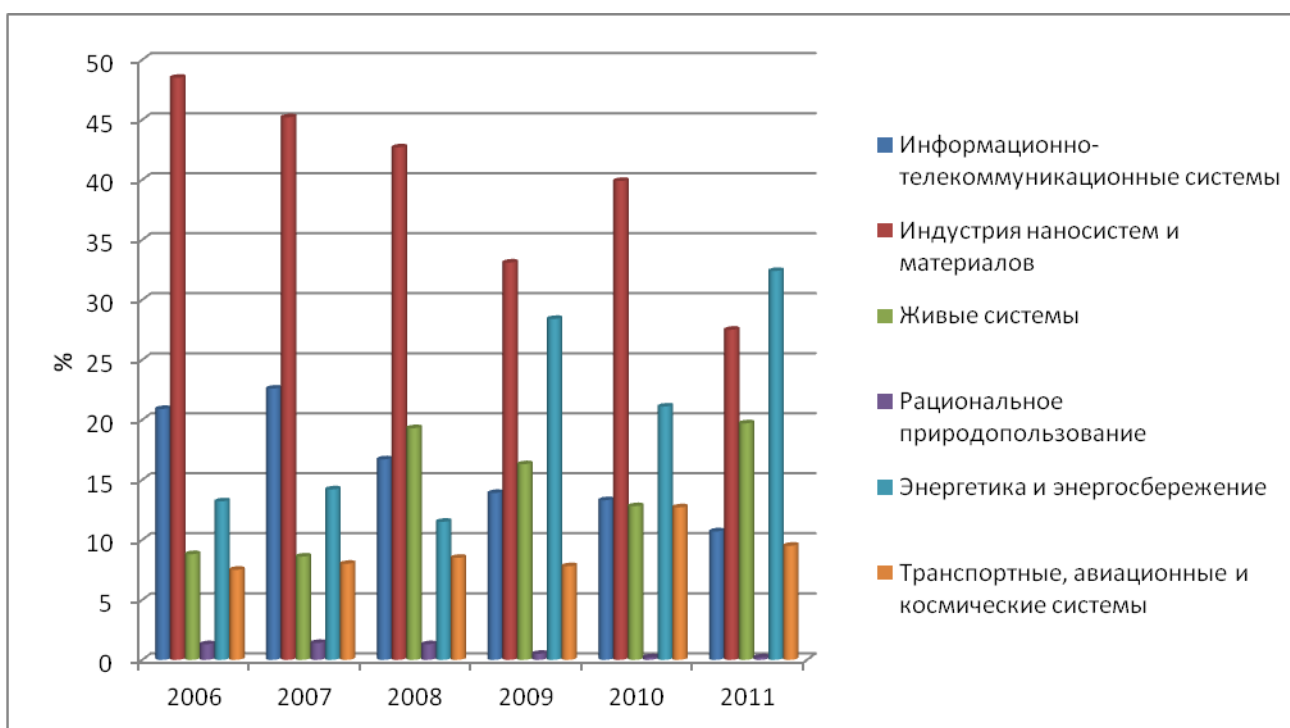


Рисунок 10.17 – Структура внутренних затрат на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники

Динамика изменения внутренних затрат на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники представлена на рисунке 10.18 и табл. 10.22.

Таблица 10.22. Динамика изменения внутренних затрат на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники (%)

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Информационно-телекоммуникационные системы | 100 | 100 | 138 | 106 | 104 | 85 |
| Индустрия наносистем и материалов | 100 | 90,6 | 179 | 57 | 222 | 85 |
| Живые системы | 100 | 90,6 | 215 | 105 | 84 | 200 |
| Рациональное природопользование | 100 | 64 | 171 | 47 | 49 | 200 |
| Энергетика и энергосбережение | 100 | 100 | 153 | 309 | 80 | 200 |
| Транспортные, авиационные и космические системы | 100 | 100 | 201 | 115 | 174 | 98 |

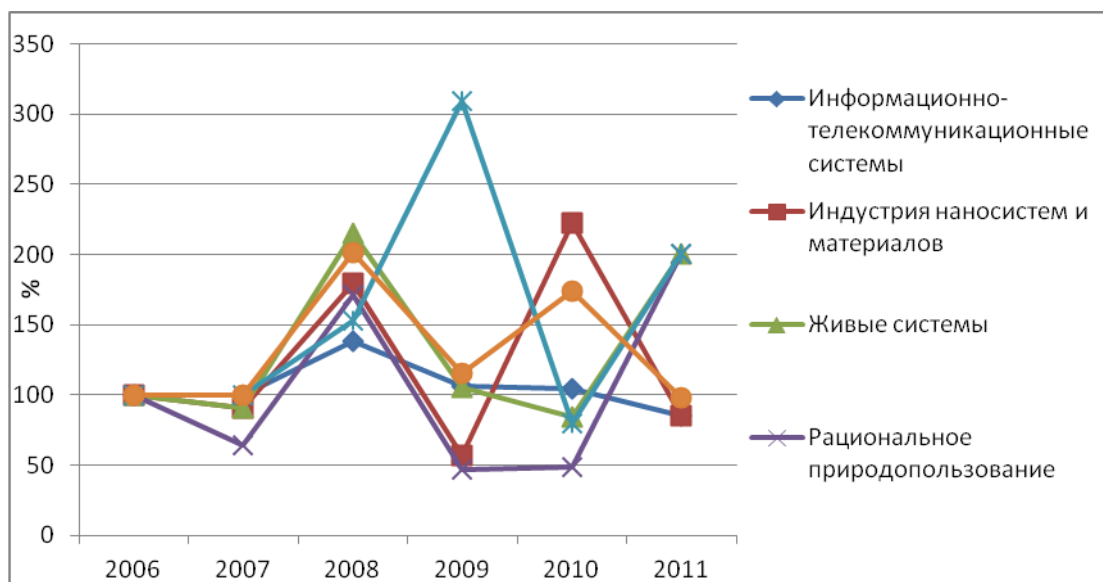


Рисунок 10.18 – Динамика внутренних затрат на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки, технологий и техники (%)

СВОДНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДАННЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФОРМ ЗА ПЕРИОД 2006–2011 гг.

Численность работников, выполнявших научные исследования и разработки, на конец отчетного года (чел.)

| Показатели по годам | <i>Общая численность</i> | | | | | | <i>Имеют высшее профессиональное образование</i> | | | | | | <i>Доктора наук</i> | | | | | |
|---|--------------------------|------|------|------|------|-------|---|------|------|------|------|------|---------------------------------|------|------|------|-------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Численность работников, выполнявших исследования и разработки | 10098 | 9692 | 9503 | 9749 | 9856 | 10095 | 7505 | 7170 | 7270 | 7328 | 7472 | 7693 | 1116 | 1050 | 1124 | 1148 | 1158 | 1181 |
| исследователи | 5745 | 5486 | 5412 | 5562 | 5635 | 5803 | 5745 | 5486 | 5412 | 5562 | 5635 | 5803 | 1110 | 1044 | 1114 | 1146 | 1157 | 1178 |
| техники | 866 | 866 | 755 | 688 | 744 | 731 | 807 | 548 | 483 | 417 | 485 | 432 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| вспомогательный персонал | 2093 | 1969 | 1880 | 1882 | 1842 | 1806 | 415 | 747 | 989 | 870 | 853 | 876 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| прочие | 1394 | 1371 | 1456 | 1617 | 1635 | 1755 | 415 | 389 | 386 | 487 | 499 | 582 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Показатели по годам | <i>Кандидаты наук</i> | | | | | | <i>Имеют среднее профессиональное образование</i> | | | | | | <i>Имеют прочее образование</i> | | | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| всего | 2493 | 2360 | 2466 | 2483 | 2497 | 2512 | 876 | 848 | 725 | 726 | 770 | 810 | 1717 | 1674 | 1508 | 1695 | 1615 | 1590 |
| исследователи | 2483 | 2350 | 2447 | 2470 | 2486 | 2494 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| техники | 0 | 0 | 13 | 0 | 1 | 2 | 216 | 216 | 184 | 154 | 162 | 161 | 102 | 102 | 88 | 117 | 97718 | 138 |
| вспомогательный персонал | 9 | 9 | 6 | 11 | 10 | 15 | 372 | 349 | 206 | 261 | 270 | 302 | 914 | 873 | 685 | 751 | 718 | 627 |
| прочие | 1 | 1 | 0 | 1 | | 1 | 288 | 283 | 335 | 311 | 340 | 347 | 701 | 699 | 735 | 827 | 797 | 825 |

Численность совместителей и лиц, работавших по договорам гражданско-правового характера (чел.)

| | № строки | Численность работников, человек | | | | | Число человеко-дней, отработанных за отчетный год | | | | |
|--------------------------|----------|---------------------------------|------|------|------|------|---|--------|--------|--------|----------|
| | | 2006 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 201 | 870 | 841 | 1128 | 1105 | 1288 | 117476 | 154188 | 214695 | 190090 | 334552,9 |
| исследователи | 202 | 475 | 486 | 640 | 669 | 739 | 62621 | 68448 | 105133 | 116344 | 200168 |
| техники | 203 | 91 | 88 | 109 | 81 | 112 | 20181 | 17433 | 22249 | 16452 | 34273,2 |
| вспомогательный персонал | 204 | 140 | 84 | 128 | 131 | 164 | 28123 | 15744 | 14514 | 20372 | 44995 |
| прочие | 205 | 158 | 204 | 251 | 224 | 262 | 6551 | 33896 | 72799 | 36922 | 55326,7 |

Распределение исследователей по областям науки (чел.)

| Показатели по годам | Общая численность | | | | | | в т.ч. женщин | | | | | | Доктора наук | | | | | |
|--|-------------------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|--------------|------|------|------|------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 5745 | 5486 | 5412 | 5562 | 5635 | 5803 | 2303 | 2156 | 1907 | 2303 | 2223 | 2240 | 1110 | 1044 | 1114 | 1146 | 1157 | 1178 |
| Естественные науки | 4611 | 4351 | 4469 | 4407 | 4480 | 4613 | 1826 | 1679 | 1586 | 1826 | 1676 | 1717 | 858 | 792 | 847 | 836 | 844 | 851 |
| математика, механика | 247 | 247 | 177 | 240 | 240 | 250 | 49 | 49 | 15 | 49 | 40 | 43 | 80 | 80 | 32 | 103 | 81 | 83 |
| физика, астрономия | 2434 | 2432 | 2363 | 2339 | 2369 | 2431 | 675 | 675 | 519 | 675 | 538 | 551 | 392 | 392 | 414 | 393 | 393 | 394 |
| химия, фармацевтическая химия | 423 | 421 | 390 | 395 | 403 | 389 | 260 | 259 | 217 | 260 | 241 | 256 | 102 | 102 | 64 | 51 | 51 | 46 |
| биология, психофизиология | 1348 | 1091 | 1385 | 1321 | 1324 | 1362 | 761 | 615 | 799 | 761 | 806 | 801 | 265 | 199 | 291 | 275 | 275 | 279 |
| науки о Земле (кроме экономической, социальной и политической географии) | 159 | 159 | 154 | 112 | 144 | 181 | 81 | 81 | 36 | 81 | 50 | 65 | 19 | 19 | 46 | 56 | 44 | 53 |
| Технические науки | 365 | 365 | 276 | 330 | 330 | 326 | 101 | 101 | 36 | 101 | 80 | 86 | 58 | 58 | 79 | 79 | 79 | 80 |
| Медицинские науки | 2 | 2 | 49 | 58 | 58 | 59 | 2 | 2 | 16 | 25 | 25 | 24 | 0 | 0 | 19 | 22 | 22 | 24 |
| Сельскохозяйственные науки | 3 | 3 | 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Общественные науки | 180 | 180 | 104 | 141 | 141 | 156 | 106 | 106 | 40 | 106 | 80 | 90 | 27 | 27 | 23 | 27 | 26 | 28 |
| экономика (кроме экономики сельского хозяйства) | 67 | 67 | 35 | 75 | 75 | 80 | 35 | 35 | 10 | 35 | 43 | 43 | 16 | 16 | 11 | 16 | 20 | 21 |
| юридические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| педагогические науки | 2 | 2 | 0 | 14 | 14 | 14 | 2 | 2 | 0 | 2 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| психология (кроме психофизиологии) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| социология | 60 | 60 | 69 | 51 | 51 | 60 | 31 | 31 | 30 | 31 | 25 | 34 | 7 | 7 | 12 | 7 | 5 | 6 |
| политические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| другие общественные науки | 51 | 51 | 0 | 1 | 1 | 1 | 37 | 37 | 0 | 37 | 1 | 1 | 4 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| Гуманитарные науки | 584 | 584 | 507 | 623 | 623 | 646 | 245 | 245 | 227 | 245 | 344 | 320 | 167 | 167 | 146 | 183 | 183 | 195 |
| история | 305 | 305 | 307 | 344 | 344 | 346 | 70 | 70 | 118 | 70 | 154 | 121 | 83 | 83 | 85 | 104 | 104 | 109 |
| философия | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| филология | 265 | 265 | 181 | 263 | 263 | 279 | 163 | 163 | 99 | 163 | 175 | 182 | 82 | 82 | 59 | 77 | 77 | 82 |
| искусствоведение, теория и история архитектуры | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| культурология | 10 | 10 | 13 | 6 | 6 | 2 | 9 | 9 | 8 | 9 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

| Показатели по годам | Число женщин-докторов наук | | | | | | Кандидаты наук | | | | | | Число женщин-кандидатов наук | | | | | |
|--|----------------------------|------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 251 | 230 | 224 | 262 | 262 | 269 | 2483 | 2350 | 2447 | 2470 | 2486 | 2494 | 1031 | 949 | 929 | 1059 | 1062 | 1079 |
| Естественные науки | 186 | 165 | 175 | 175 | 175 | 177 | 2059 | 1926 | 2018 | 1958 | 1974 | 1969 | 833 | 751 | 764 | 812 | 815 | 807 |
| математика, механика | 4 | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 105 | 105 | 88 | 97 | 97 | 95 | 22 | 22 | 12 | 22 | 21 | 18 |
| физика, астрономия | 46 | 46 | 62 | 44 | 44 | 44 | 1013 | 1013 | 980 | 958 | 961 | 937 | 238 | 238 | 201 | 238 | 215 | 215 |
| химия, фармацевтическая химия | 16 | 16 | 13 | 17 | 17 | 15 | 160 | 158 | 157 | 163 | 163 | 164 | 93 | 92 | 86 | 93 | 103 | 103 |
| биология, психофизиология | 109 | 88 | 94 | 104 | 104 | 104 | 702 | 571 | 708 | 877 | 677 | 688 | 445 | 364 | 442 | 445 | 448 | 437 |
| науки о Земле (кроме экономической, социальной и политической географии) | 11 | 11 | 5 | 5 | 5 | 9 | 79 | 79 | 85 | 57 | 76 | 85 | 35 | 35 | 23 | 35 | 28 | 34 |
| Технические науки | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 107 | 107 | 120 | 111 | 111 | 109 | 20 | 20 | 27 | 21 | 21 | 25 |
| Медицинские науки | 0 | 0 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 21 | 31 | 31 | 32 | 2 | 2 | 13 | 20 | 20 | 17 |
| Сельскохозяйственные науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Общественные науки | 6 | 6 | 4 | 6 | 6 | 9 | 93 | 93 | 39 | 0 | 73 | 79 | 56 | 56 | 14 | 56 | 40 | 46 |
| экономика (кроме экономики сельского хозяйства) | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 | 6 | 34 | 34 | 10 | 34 | 40 | 40 | 20 | 20 | 3 | 20 | 19 | 21 |
| юридические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| педагогические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 12 | 13 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10 | 11 |
| психология (кроме психофизиологии) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| социология | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 29 | 29 | 29 | 29 | 21 | 26 | 12 | 12 | 11 | 12 | 11 | 14 |
| политические науки | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| другие общественные науки | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 29 | 29 | 0 | 29 | 0 | 0 | 23 | 23 | 0 | 23 | 0 | 0 |
| Гуманитарные науки | 54 | 54 | 37 | 54 | 71 | 73 | 219 | 219 | 247 | 219 | 294 | 300 | 118 | 118 | 109 | 118 | 163 | 181 |
| история | 22 | 22 | 17 | 22 | 31 | 32 | 112 | 112 | 179 | 112 | 169 | 171 | 51 | 51 | 70 | 51 | 75 | 99 |
| философия | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| филология | 31 | 31 | 19 | 31 | 38 | 39 | 104 | 104 | 66 | 104 | 118 | 121 | 65 | 65 | 37 | 65 | 81 | 84 |
| искусствоведение, теория и история архитектуры | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 0 |
| культурология | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Распределение исследователей по возрасту (чел.)

| Показатели по годам | <i>Всего</i> | | | | | | <i>Женщины</i> | | | | | | <i>Доктора наук</i> | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 5745 | 5486 | 5412 | 5562 | 5635 | 5803 | 2303 | 2156 | 1907 | 2303 | 2223 | 2240 | 1110 | 1044 | 1114 | 1146 | 1157 | 1178 |
| до 29 лет | 504 | 474 | 662 | 662 | 662 | 663 | 213 | 194 | 215 | 261 | 262 | 283 | 0 | 0 | х | х | 0 | 0 |
| 30 – 39 лет | 843 | 809 | 733 | 798 | 809 | 839 | 357 | 330 | 279 | 319 | 302 | 335 | 20 | 9 | 33 | 32 | 15 | 15 |
| 40 – 49 лет | 946 | 903 | 770 | 730 | 702 | 732 | 404 | 380 | 320 | 318 | 301 | 307 | 102 | 97 | 96 | 86 | 70 | 83 |
| 50 – 54 лет | 706 | 684 | 601 | 597 | 595 | 592 | 271 | 258 | 205 | 234 | 225 | 263 | 111 | 108 | 119 | 100 | 87 | 116 |
| 55 – 59 лет | 795 | 762 | 652 | 640 | 639 | 631 | 286 | 266 | 226 | 246 | 234 | 235 | 183 | 174 | 172 | 172 | 172 | 171 |
| 60 – 69 лет | 1223 | 1160 | 1161 | 1101 | 1224 | 1224 | 511 | 461 | 427 | 517 | 504 | 435 | 343 | 323 | 318 | 318 | 316 | 329 |
| 70 и более | 728 | 694 | 833 | 884 | 1004 | 1122 | 261 | 247 | 235 | 408 | 395 | 382 | 351 | 333 | 376 | 406 | 497 | 464 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Показатели по годам | <i>Женщины-доктора наук</i> | | | | | | <i>Кандидаты наук</i> | | | | | | <i>Женщины-кандидаты наук</i> | | | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Всего | 251 | 230 | 224 | 262 | 262 | 269 | 2483 | 2350 | 2447 | 2470 | 2486 | 2494 | 1031 | 949 | 929 | 1059 | 1062 | 1079 |
| до 29 лет | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 | 81 | 130 | 114 | 114 | 114 | 36 | 30 | 29 | 42 | 42 | 42 |
| 30 – 39 лет | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 428 | 411 | 444 | 550 | 559 | 475 | 169 | 158 | 170 | 175 | 278 | 208 |
| 40 – 49 лет | 17 | 16 | 14 | 17 | 17 | 14 | 492 | 463 | 406 | 429 | 431 | 406 | 195 | 178 | 172 | 172 | 172 | 196 |
| 50 – 54 лет | 30 | 28 | 15 | 19 | 20 | 25 | 333 | 315 | 281 | 227 | 217 | 263 | 123 | 113 | 103 | 122 | 122 | 124 |
| 55 – 59 лет | 38 | 35 | 35 | 36 | 36 | 36 | 375 | 359 | 318 | 213 | 203 | 255 | 169 | 160 | 131 | 93 | 93 | 102 |
| 60 – 69 лет | 74 | 70 | 65 | 78 | 73 | 68 | 521 | 483 | 535 | 561 | 581 | 530 | 242 | 218 | 210 | 216 | 216 | 220 |
| 70 и более | 89 | 78 | 92 | 109 | 113 | 123 | 244 | 238 | 333 | 376 | 381 | 451 | 97 | 94 | 114 | 139 | 139 | 187 |

Затраты на научные исследования и разработки (тыс. руб.)

| Показатели по годам | Общие затраты | | | | | | Естественные науки | | | | | |
|---|---------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Затраты на научные исследования и разработки, всего (сумма строк 502, 515) | 288847,7 | 3134674,0 | 5271 576,9 | 5281 315,2 | 6203118,1 | 6438096,7 | 538352,0 | 2472640 | 3906130,3 | 4048531,3 | 4492467,8 | 4744703 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки – всего (сумма строк 503, 511) | 2971891,0 | 3057393,3 | 5035763,9 | 5129278,2 | 5965276,9 | 6005747,70 | 2403850,0 | 1757034,0 | 3731948,7 | 3923095,7 | 4291606,9 | 4415268,0 |
| Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки (без амортизации) (сумма строк 504, 506, 507, 509, 510) | 2724116,0 | 2827065,8 | 4771511,1 | 4881835,9 | 5644713,3 | 5826189,45 | 2166929 | 209417,0 | 3497100,0 | 3680688,2 | 3990747,3 | 4247412,0 |
| <i>затраты на оплату труда</i> | 1165597,0 | 1212320,8 | 2790802,5 | 2994058,1 | 3050767,9 | 3383070,0 | 879793,8 | 900440,9 | 2088528,9 | 2200983,0 | 2091164,9 | 2437602,1 |
| в том числе работникам, выполнявшим научные исследования и разработки гражданско-правового характера | 1105110,0 | 1149314,4 | 2503341,4 | 2768410,4 | 2698279,4 | 3035506,59 | 837591 | 837591 | 1980039,3 | 2038286,9 | 1943353,6 | 2171692,3 |
| <i>отчисления на единый социальный налог</i> | 286070,5 | 297513,3 | 627281,1 | 654566,9 | 686779,9 | 937689,5 | 219598,8 | 209778,8 | 464735,9 | 504113,2 | 496923,1 | 667532,37 |
| <i>затраты на оборудование</i> | 278988,0 | 390281,9 | 375941,7 | 194097,4 | 402462,7 | 205153,4 | 242797,9 | 242797,9 | 213329,9 | 142398,2 | 237760,6 | 153353,5 |
| в том числе на основные фонды | 0 | 256029,3 | 281578,4 | 164996,6 | 280336,5 | 185271,6 | 0 | 234560 | 176826,1 | 114208,1 | 115548,7 | 137793,0 |
| <i>другие материальные затраты</i> | 391545,6 | 407207,4 | 171393,2 | 368 466,6 | 411 378,1 | 378 001,09 | 342846,7 | 355518,7 | 115890,9 | 285 365,0 | 336 307,3 | 261971,6 |
| <i>прочие текущие затраты</i> | 524684,6 | 519742,2 | 541840,7 | 670382,5 | 1093324,7 | 922275,5 | 404660,8 | 395702,8 | 379765,7 | 547564,4 | 828591,4 | 699234,3 |
| Капитальные затраты на научные исследования и разработки (сумма строк 512-514) | 247775,0 | 230327,5 | 264252,8 | 247442,3 | 320563,6 | 175526,45 | 236920,8 | 221399,1 | 0 | 242407,5 | 300859,57 | 166100,85 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| из них: земельные участки и здания | 5700 | 5700 | 4800,0 | 3000,0 | 2500,0 | 0 | 4700 | 4700 | 0 | 3000 | 2500 | 0 |
| оборудование | 138546,5 | 126424,8 | 137953,3 | 177744,9 | 85281,4 | 120709,65 | 134069,9 | 121948,2 | 0 | 175004,2 | 68277,37 | 113044,0 |
| прочие капитальные затраты | 103528,5 | 98202,7 | 121499,5 | 66697,4 | 232782,2 | 54816,8 | 98150,9 | 94750,9 | 0 | 64403,3 | 230082,2 | 53056,8 |
| Внешние затраты на научные исследования и разработки | 243901,1 | 245360,2 | 235813,0 | 152037,0 | 237841,2 | 391205,10 | 134502,2 | 132952,2 | 0 | 125435,6 | 200860,9 | 287364,0 |
| Из строки 503 (сумма строк 516-518) внутренние текущие за- траты на научные иссле- дования и разработки на: | 2724116 | 2827065,8 | 4771511,1 | 4881835,9 | 5644713,3 | 5826189,45 | 2166929 | 2094171 | 3497100,0 | 3680688,2 | 3990747,3 | 4247412,0 |
| фундаментальные исследования | 2085416 | 2287681,7 | 3907911,6 | 3849252,1 | 3795877,8 | 4838295,0 | 1700930 | 1460279 | 2694977,4 | 2771586,3 | 2598975,4 | 3332754,7 |
| прикладные исследования | 320426,8 | 318166,8 | 625960,4 | 702120,3 | 1078822,6 | 656166,4 | 281654,3 | 279394,3 | 568 836,4 | 643 239,1 | 983150,2 | 587618,0 |
| разработки | 221717,3 | 221217,3 | 237639,1 | 328115,0 | 393427,3 | 331783,6 | 184345,4 | 183845,4 | 233485,7 | 296672,0 | 388330,2 | 327039,30 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Показатели по годам | <i>Технические науки</i> | | | | | | <i>Медицинские науки</i> | | | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Затраты на научные исследования и разработ- ки, всего (сумма строк 502, 515) | 288847,7 | 273442,3 | 665614,4 | 417119,6 | 725936,1 | 733429,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3162,1 | 550, 0 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки, всего (сумма строк 503, 511) | 212676,1 | 113806,5 | 620929,5 | 396643,3 | 693760,1 | 632833,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2986,9 | 550,0 |
| Внутренние текущие за- траты на научные иссле- дования и разработки (без амортизации) (сумма строк 504, 506, 507, 509, 510) | 207496 | 207496 | 591525,4 | 394070,4 | 685167,0 | 626468,20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2986,9 | 550,0 |
| затраты на оплату труда | 93648,5 | 93648,5 | 310269,7 | 296076,0 | 371510,4 | 394703,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1982,0 | 173,5 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---|---|---|---|---------|--------|
| в том числе работникам, выполнявшим научные исследования и разработки гражданско-правового характера) | 88649,4 | 88649,4 | 214052,9 | 272056,1 | 278867,2 | 347849,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1951,2 | 173,5 |
| <i>отчисления на единый социальный налог</i> | 19249,5 | 14223,5 | 71579,0 | 43672,9 | 60057,9 | 72210,3.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 451,20 | 57,40 |
| <i>затраты на оборудование</i> | 23546,9 | 23546,9 | 58272,8 | 9451,7 | 141951,1 | 34720,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,10 | 0 |
| в том числе на основные фонды | 0 | 8220,5 | 10499,6 | 8670,0 | 141951,1 | 34460,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,10 | 0 |
| <i>другие материальные затраты</i> | 31545,8 | 223321,6 | 33916,1 | 12033,5 | 26404,2 | 61270,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76,70 | 288,90 |
| <i>прочие текущие затраты</i> | 39505,3 | 39505 | 88083,3 | 32836,3 | 85243,4 | 63330,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 464,00 | 30,20 |
| Капитальные затраты на научные исследования и разработки (сумма строк 512-514) | 5180 | 5180 | 29404,1 | 2572,9 | 8593,1 | 6599,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| из них: | | | | | | | | | | | | |
| <i>земельные участки и здания</i> | 1000 | 1000 | 1400,0 | 0 | 0 | 0, | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>оборудование</i> | 3280 | 3280 | 11245,7 | 278,8 | 5893,1 | 4839,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>прочие капитальные затраты</i> | 900 | 900 | 16758,4 | 2294,1 | 2700 | 1760,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Внешние затраты на научные исследования и разработки | 76171,6 | 76171,6 | 44684,9 | 20476,3 | 32176,0 | 100595,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 175,2 | |
| Из строки 503 (сумма строк 516-518) внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки на: | 207496 | 207496 | 591525,4 | 394070,4 | 685167,0 | 626468,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 986,9 | 550,00 |
| <i>фундаментальные исследования</i> | 163025,1 | 161017,9 | 566797,2 | 351555,9 | 361918,8 | 555294,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2183,0 | 0 |
| <i>прикладные исследования</i> | 7172,8 | 7172,8 | 21360,0 | 30588,0 | 37979,0 | 67920,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 291,1 | 0 |
| <i>разработки</i> | 37298,1 | 37298,1 | 3 368,2 | 10498,5 | 4223,9 | 3253,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 436,6 | 550,0 |

| Показатели по годам | <i>Сельскохозяйственные науки</i> | | | | | | <i>Общественные науки</i> | | | | | |
|---|-----------------------------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Затраты на научные исследования и разработки, всего (сумма строк 502, 515) | 878,3 | 878,3 | 2685,7 | 2934,4 | 3162,1 | 3262,60 | 37018,4 | 37018,4 | 53849,5 | 84097,6 | 85642,0 | 80600,1 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки, всего (сумма строк 503, 511) | 426,5 | 426,5 | 2617,1 | 2850,2 | 2986,9 | 3138,10 | 30142,6 | 30476,3 | 52598,0 | 78056,7 | 83094,9 | 79906,70 |
| Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки (без амортизации) (сумма строк 504, 506, 507, 509, 510) | 426,5 | 426,5 | 2617,1 | 2850,2 | 2986,9 | 3138,10 | 26394,5 | 31072,1 | 52598,0 | 78056,7 | 83094,9 | 77721,40 |
| <i>затраты на оплату труда</i> | 221,4 | 221,4 | 1759,4 | 1886,0 | 1982,90 | 2017,20 | 17579,4 | 20308,9 | 27326,2 | 53978,50 | 56438,50 | 47873,80 |
| в том числе работникам, выполнявшим научные исследования и разработки гражданско-правового характера | 161,6 | 161,6 | 1663,5 | 0 | 1951,20 | 2002,40 | 13413,7 | 13413,7 | 22425,1 | 49154,50 | 52405,60 | 45192,90 |
| <i>отчисления на единый социальный налог</i> | 58 | 58 | 392,9 | 0 | 451,20 | 600,50 | 4434,6 | 3889,7 | 6929,2 | 10148,40 | 7957,20 | 14335,50 |
| <i>затраты на оборудование</i> | 16,2 | 16,2 | 107,1 | 0 | 12,10 | 10,00 | 116,2 | 170,7 | 3256,4 | 3635,50 | 8551,20 | 2048,00 |
| в том числе на основные фонды | 8,1 | 8,1 | 107,1 | 0 | 12,10 | 10,00 | | 162,4 | 2132,1 | 3506,50 | 8636,90 | 85,00 |
| <i>другие материальные затраты</i> | 42,2 | 42,2 | 49,2 | 0 | 76,70 | 78,90 | 1370,8 | 1401,8 | 2857 | 806,30 | 680,10 | 5957,90 |
| <i>прочие текущие затраты</i> | 88,7 | 88,7 | 308,5 | 0 | 464,00 | 431,50 | 2893,2 | 6908,8 | 12 229,2 | 9488,00 | 9467,90 | 7448,80 |
| Капитальные затраты на научные исследования и разработки (сумма строк 512-514) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3748,4 | 0 | 0 | 0 | 0, |
| из них: <i>земельные участки и</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1196,6 | 11400 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|----------|
| <i>здания</i> | | | | | | | | | | | | |
| <i>оборудование</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2551,8 | 1196,6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>прочие капитальные затраты</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6875,6 | 2551,8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Внешние затраты на научные исследования и разработки | 451,8 | 451,8 | 68,6 | 84,2 | 175,2 | 124,50 | 0 | 9952,2 | 1 251,5 | 6040,9 | 2547,1 | 720,50 |
| Из строки 503 (сумма строк 516-518) внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки (без амортизации) на: | | | | | | | | | | | | |
| <i>фундаментальные исследования</i> | 426,5 | 426,5 | 2 617,1 | 2 850,2 | 2 986,9 | 3138,10 | 26394,5 | 31072,1 | 52 598,0 | 78 056,7 | 83094,9 | 77721,40 |
| <i>прикладные исследования</i> | 365,4 | 365,4 | 1962,8 | 2137,5 | 2183 | 2353,70 | 36,8 | 23073,3 | 48787,6 | 56487,2 | 58087,3 | 76936,90 |
| <i>разработки</i> | 34,1 | 34,1 | 261,7 | 285 | 291,1 | 313,80 | 207,5 | 207,5 | 3 417,8 | 1755,3 | 291,1 | 313,80 |
| | 37,0 | 37,0 | 392,6 | 427,5 | 436,6 | 470,60 | 0 | 36,8 | 392,6 | 427,5 | 436,6 | 470,70 |

| Показатели по годам | <i>Гуманитарные науки</i> | | | | | |
|---|---------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Затраты на научные исследования и разработки, всего (сумма строк 502, 515) | 350695,7 | 380601,1 | 643 97,0 | 728 632,3 | 894 849,4 | 875 551,50 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки, всего (сумма строк 503, 511) | 324795,8 | 354265,8 | 627 670,6 | 728 632,3 | 892 767,4 | 874 051,20 |
| Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки (без амортизации) (сумма строк 504, 506, 507, 509, 510) | 322870,0 | 351695,7 | 627 670,6 | 726170,4 | 881 656,5 | 853654,8 |
| <i>затраты на оплату труда</i> | 174353,6 | 184384,8 | 362 918,3 | 441 134,6 | 529 120,5 | 500 669,90 |
| в том числе работникам, выполнявшим научные | 165294,1 | 174353,6 | 285 160,6 | 407 041,8 | 421 151,1 | 464 386,5 |

| | | | | | | |
|---|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| исследования и разработки гражданско-правового характера | | | | | | |
| <i>отчисления на единый социальный налог</i> | 42729,6 | 45712,2 | 83 644,1 | 96 208,7 | 121 246,2 | 129 809,5 |
| <i>затраты на оборудование</i> | 12510,8 | 16529,1 | 100 975,5 | 38 591,0 | 14 187,7 | 15 345,7 |
| в том числе на основные фонды | 0 | 0 | 92 013,5 | 38 591,0 | 14 187,7 | 12 923,3 |
| <i>другие материальные затраты</i> | 15740,1 | 16529,1 | 18678,7 | 70 206,0 | 47 854,8 | 48 433,8 |
| <i>прочие текущие затраты</i> | 77536,6 | 88536,5 | 61 454,0 | 80 029,80 | 169 247,3 | 174742,6 |
| Капитальные затраты на научные исследования и разработки (сумма строк 512-514) | 1925,8 | 2570,1 | 0 | 2461,9 | 11110,9 | 20 396,10 |
| из них: | | | | | | |
| <i>земельные участки и здания</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>оборудование</i> | 1925,8 | 2570,1 | 0 | 2461,9 | 11110,9 | 2 825,90 |
| <i>прочие капитальные затраты</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Внешние затраты на научные исследования и разработки | 25899,9 | 26335,5 | 15 626,4 | 0 | 0 | 2 825,90 |
| Из строки 503 (сумма строк 516-518) внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки (без амортизации) на: | 322870,0 | 351691,7 | 627 670,6 | 728 632,3 | 892767,4 | 853654,8 |
| <i>фундаментальные исследования</i> | 291517,9 | 319423 | 595586.1 | 667485,2 | 735655,4 | 734207,6 |
| <i>прикладные исследования</i> | 31358,1 | 32268,7 | 32 084,5 | 46342,4 | 57111,2 | 119447,2 |
| <i>разработки</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Источники финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки (тыс. руб.)

| Показатели по годам | Общие данные | | | | | | Естественные науки | | | | | |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки | 2971891 | 3057393,3 | 5035763,9 | 5129278,2 | 5965276,9 | 6005747,7 | 2403850 | 2299272 | 3731948,7 | 3923095,7 | 5028236,0 | 4415268,0 |
| собственные средства | 60323,9 | 206404,7 | 72593,7 | 340333,2 | 105987,0 | 332166,5 | 10501,3 | 130682,2 | 21181,8 | 16985,8 | 40849,2 | 189994,3 |
| средства бюджетов всех уровней (сумма строк 604, 605) | 2332199 | 2313032,0 | 3999949,5 | 4031493,7 | 4719283,9 | 4829871,2 | 1876797 | 2149486 | 2978429,2 | 3274269 | 3758839,7 | 3713907,4 |
| федерального бюджета | 2323874 | 2310791,3 | 3841754,0 | 3962053,6 | 4690992,9 | 4815418,0 | 1875048 | 2182370 | 2823327,6 | 2049928,6 | 3735964,1 | 3711959,1 |
| бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов | 2240,7 | 2240,7 | 158195,5 | 69440,1 | 28291,8 | 14453,2 | 1750,3 | 1750,3 | 155101,6 | 69340,4 | 22875,6 | 1948,3 |
| бюджетные ассигнования на содержание вуза (сектор высшего образования) | 0 | 0 | 85,8 | 0,0 | 0 | 3492,2 | 0 | 0 | 85,8 | 0 | 0 | 0 |
| средства внебюджетных фондов | 140315,9 | 0 | 144999,4 | 186056,6 | 220856,2 | 188994,7 | 102051,5 | 102051,5 | 87161,0 | 152663,0 | 150654,5 | 114446,1 |
| средства организаций государственного сектора (кроме учтенных по строкам 602-607) | 68553,2 | 67765 | 272178,9 | 200894,7 | 314795,6 | 385303,2 | 60351,8 | 59563,6 | 218757,1 | 180816,2 | 109829,5 | 326545,4 |
| средства организаций предпринимательского сектора | 337908,4 | 337615 | 273020,5 | 276329,3 | 562740,3 | 168049,1 | 284418,7 | 284125,3 | 243214,4 | 226518,0 | 334701,6 | 89712,5 |
| средства организаций сектора высшего образования | 83454,1 | 83178,1 | 894,0 | 6849,8 | 11511,0 | 27952,6 | 83407,9 | 83131,9 | 865,0 | 5722,5 | 4811,0 | 7177,6 |
| средства частных некоммерческих организаций | 6331,4 | 6331,4 | 2407,6 | 5168,1 | 760,6 | 1669,3 | 6318,8 | 6318,8 | 745,3 | 550,0 | 760,6 | 1669,3 |
| средства иностранных источников | 63522,9 | 63460,8 | 269634,5 | 82152,8 | 62425,7 | 68248,9 | 49112,2 | 49050,1 | 181509,1 | 65571,2 | 38144,8 | 42274,3 |

| Показатели по годам | <i>Технические науки</i> | | | | | | <i>Медицинские науки</i> | | | | | |
|---|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|----------|------|------|---------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки | 212676,1 | 212676,1 | 620929,5 | 396643,3 | 709035,9 | 632833,7 | 0 | 176042,2 | 0 | 0 | 79333,6 | 550 |
| собственные средства | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 1762,8 | 22725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74,0 | 0 |
| средства бюджетов всех уровней (сумма строк 604, 605) | 176042,2 | 1731639 | 449280,6 | 333997,1 | 381452,1 | 427772,2 | 0 | 176042,2 | 0 | 0 | 70379,1 | 550 |
| федерального бюджета | 176042,20 | | 449180,6 | 315595,3 | 376246,9 | 428473,7 | 0 | 173909,9 | 0 | 0 | 70168,1 | 550 |
| бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов | 328,9 | 1779027 | 100,0 | 15,0 | 5205,2 | 2298,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 211,0 | 0 |
| бюджетные ассигнования на содержание вуза (сектор высшего образования) | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| средства внебюджетных фондов | 6285,8 | 328,9 | 24645,7 | 3123,4 | 28904,3 | 32517,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1085,0 | 0 |
| средства организаций государственного сектора (кроме учтенных по строкам 602-607) | 7558,4 | 7558,4 | 53421,8 | 19951,4 | 204966,1 | 58742,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 |
| средства организаций предпринимательского сектора | 53415,2 | 53415,2 | 7 757,4 | 29255,3 | 64718,9 | 72249,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4763,2 | 0 |
| средства организаций сектора высшего образования | 34,2 | 34,2 | 0 | 980,0 | 6700,0 | 16875 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 |
| средства частных некоммерческих организаций | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 |
| средства иностранных источников | 13333,3 | 13333,3 | 85824,0 | 9321,1 | 20531,9 | 23016,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 351,0 | 0 |

| Показатели по годам | <i>Сельскохозяйственные науки</i> | | | | | | <i>Общественные науки</i> | | | | | |
|---|-----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки | 426,5 | 426,5 | 2617,1 | 2850,2 | 2986,9 | 3138,1 | 30142,6 | 30142,6 | 52598,0 | 78056,7 | | 79906,7 |
| собственные средства | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 800 | 800 | 2319,8 | 0 | 0 | 0 |
| средства бюджетов всех уровней (сумма строк 604, 605) | 360,5 | 0 | 2316,0 | 2601,5 | 0 | 2788,2 | 29252,3 | 360,5 | 49111,2 | 74673,9 | 0 | 78842,5 |
| федерального бюджета | 360,5 | 0 | 2316,0 | 2601,5 | 0 | 2788,2 | 29090,8 | | 46117,3 | 74673,9 | 2506,3 | 78609 |
| бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 161,5 | 0 | 2993,9 | 84,7 | 0 | 233,5 |
| бюджетные ассигнования на содержание вуза (сектор высшего образования) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 161,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| средства внебюджетных фондов | 0 | 0 | 0 | 0 | 976,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 480,0 | 0 | 0 |
| средства организаций государственного сектора (кроме учтенных по строкам 602-607) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 127,1 | 0 | 0 |
| средства организаций предпринимательского сектора | 37,4 | 37,4 | 193,3 | 248,7 | 0 | 313,5 | 37,1 | 37,1 | 193,3 | 2 336,2 | 387,6 | 977,8 |
| средства организаций сектора высшего образования | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 12 | 29,0 | 147,3 | 0 | 50 |
| средства частных некоммерческих организаций | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,6 | 12,6 | 127,1 | 0 | 0 | 0 |
| средства иностранных источников | 28,6 | 28,6 | 107,8 | 0,0 | 84,0 | 36,4 | 28,6 | 28,6 | 817,6 | 334,8 | 16,7 | 36,4 |

| Показатели по годам | <i>Гуманитарные науки</i> | | | | | |
|---|---------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки | 324795,8 | 354265,8 | 627 670,6 | 728 632,3 | 892 767,4 | 874 051,2 |
| собственные средства | 49022,6 | 74922,5 | 49092,1 | 323347,4 | 74,0 | 119447,2 |
| средства бюджетов всех уровней (сумма строк 604, 605) | 421304 | 244900,2 | 520811,9 | 346 | 886491,2 | 701390,3 |
| федерального бюджета | 2421304 | 216168,4 | 520812,5 | 345980,8 | 886280,2 | 691417,4 |
| бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов | 0 | 28731,8 | 0 | 0 | 211,0 | 9972,9 |
| бюджетные ассигнования на содержание вуза (сектор высшего образования) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3492,2 |
| средства внебюджетных фондов | 31978,6 | 31978,6 | 33192,7 | 29790,2 | 1085,0 | 42031,1 |
| средства организаций государственного сектора (кроме учтенных по строкам 602-607) | 643 | 613,0 | 21662,1 | 0 | 0 | 15,5 |
| средства организаций предпринимательского сектора | 0 | 0 | 0 | 17971,1 | 4763,2 | 940,9 |
| средства организаций сектора высшего образования | 0 | 831,7 | 1535,2 | 0 | 0 | 3850 |
| средства частных некоммерческих организаций | 0 | 0 | 1376,0 | 4618,1 | 0 | 0 |
| средства иностранных источников | 1020,2 | 1020,2 | 0 | 6925,7 | 351,0 | 2884,9 |

Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники (тыс. рублей)

| Показатели по годам | Всего | | | | | | Финансируемые за счет средств бюджетов всех уровней | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники | 1244886,0 | 1152133,0 | 2178156,9 | 2345922,4 | 2647068,3 | 3807551,7 | 968988,6 | 910735,2 | 1795190,8 | 2004678,0 | 1922408,1 | 3197073,2 |
| в том числе: информационно-телекоммуникационные системы | 259944,7 | 238314,5 | 357680,0 | 377432,9 | 391005,4 | 407031,0 | 214916,5 | 211547,4 | 328702,5 | 342760,8 | 316853,7 | 347414,7 |
| индустрия наносистем и материалов | 603205,0 | 559027,0 | 930652,0 | 527121,6 | 1168100,8 | 988393,0 | 435471,4 | 402271,3 | 705595,0 | 428094,7 | 732433,7 | 800435 |
| живые системы | 109115,3 | 98849,5 | 425500,7 | 446117,9 | 375175,7 | 750396,4 | 105490,2 | 94538,5 | 406642,4 | 395888,6 | 331088,2 | 717411,5 |
| рациональное природопользование | 16669,0 | 10213,0 | 28450,7 | 6427,0 | 6460,7 | 66027,0 | 11762,4 | 8015,0 | 10723,0 | 6427,0 | 3586,9 | 59022,0 |
| энергетика и энергосбережение | 163734,6 | 132515,6 | 250499,1 | 774952,8 | 335124,6 | 1233397,8 | 124000,7 | 95515,6 | 190692,1 | 636959,9 | 197295,6 | 999690,3 |
| транспортные, авиационные и космические системы | 92217,4 | 113213,4 | 185374,4 | 213870,2 | 371201,1 | 362306,5 | 77347,4 | 98847,4 | 152835,8 | 194547,0 | 341150 | 272799,7 |

| Показатели по годам | Финансирование из федерального бюджета | | | | | |
|--|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Внутренние затраты на научные исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники | 956179,1 | 821839,1 | 1747838,5 | 1967609,0 | 1891660,5 | 3140734,4 |
| информационно-телекоммуникационные системы | 213347,6 | 203397,6 | 328548,2 | 342753,7 | 311728,5 | 345176,2 |
| индустрия наносистем и материалов | 427154,8 | 348433,7 | 703232,2 | 425070,7 | 713011,6 | 750396,4 |
| живые системы | 105490,2 | 92878,2 | 372008,4 | 365858,6 | 329737,2 | 716095,6 |
| рациональное природопользование | 11762,4 | 4933,6 | 6143,0 | 6427,0 | 3586,9 | 58620,5 |
| энергетика и энергосбережение | 123940,7 | 90615,7 | 190642,1 | 636952,0 | 196295,6 | 997646 |
| транспортные, авиационные и космические системы | 74483,4 | 81580,3 | 147264,6 | 190547,0 | 337300,7 | 272799,7 |

Список петербургских научных учреждений РАН,
данные которых были учтены в расчетах

1. Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В.А. Стеклова и Международный математический институт им. Леонарда Эйлера РАН
2. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
3. Санкт-Петербургский физико-технологический Научно-образовательный центр РАН⁹
4. Институт прикладной астрономии РАН
5. Главная астрономическая обсерватория РАН
6. Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН
7. Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН
8. Институт электрофизики и электроэнергетики РАН
9. Институт проблем машиноведения РАН
10. Институт проблем транспорта РАН
11. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
12. Институт аналитического приборостроения РАН
13. Институт высокомолекулярных соединений РАН
14. Санкт-Петербургский филиал Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН
15. Институт химии силикатов им. И.В.Гребенщикова РАН
16. Институт цитологии РАН
17. Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН
18. Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН
19. Институт мозга человека РАН
20. Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН
21. Зоологический институт РАН
22. Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
23. Институт озероведения РАН
24. Санкт-Петербургский филиал Архива РАН

⁹ В соответствии с постановлением Президиума РАН от 28.04.2009 № 121 Санкт-Петербургский физико-технологический научно-образовательный центр РАН реорганизован путем присоединения к Санкт-Петербургскому Академическому университету – научно-образовательному центру нанотехнологий РАН (см. п. 37).

25. Институт истории материальной культуры РАН
26. Санкт-Петербургский институт истории РАН
27. Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН
28. Институт восточных рукописей РАН
29. Социологический институт РАН
30. Институт лингвистических исследований РАН
31. Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН
32. Институт русской литературы (Пушкинский Дом) РАН
33. Библиотека РАН
34. Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН
35. Институт проблем региональной экономики РАН
36. Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН
37. Академический физико-технологический университет РАН
38. Центр междисциплинарных исследований по проблемам окружающей среды ИНЭНКО РАН.
39. Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН (СПбФ ИИЕТ РАН)
40. Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам первого этапа научно-исследовательской работы можно сделать следующие выводы:

1. Единственным механизмом, позволяющим обеспечить требуемый для адекватного роста качества жизни населения Санкт-Петербурга рост промышленного производства, является ускоренное внедрение высокотехнологичных наукоемких производств и процессов с увеличением к 2020 году их доли в общем объеме промышленного производства как минимум в полтора раза.

2. Задача обеспечения реального инновационного развития должна стать основополагающей при планировании и организации деятельности органов государственной власти, учреждений и организаций научно-инновационно-образовательного комплекса, а также собственников существующих и инвесторов в создание новых промышленных и иных предприятий на территории Санкт-Петербурга на ближайшую перспективу.

3. На практике необходимость совместной реализации указанных подходов (с учетом того, что Санкт-Петербург занимает первое место среди регионов по диспропорции вакансии/безработные, имея самый низкий в стране уровень безработицы, который в 5-6 раз ниже фонового значения) означает целесообразность следующих решений:

– принятие в качестве стратегической политики научно-инновационного развития Санкт-Петербурга, включающей:

- разработку государственной программы трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга (научно-инновационного развития Санкт-Петербурга);
- поддержку исключительно высокотехнологичных инвестиционных проектов, реализация которых приведет не к созданию новых рабочих мест, а к замещению существующих неэффективных (с точки зрения производительности труда, устойчивости функционирования и бюджетной эффективности). Остальные инвестиционные проекты должны реализовываться без опоры (полностью или частично) на меры государственной поддержки;
- поддержку высокотехнологичного сектора малого предпринимательства, имея в виду, что производительность труда на малых предприятиях в

среднем ниже, чем на средних и крупных, и в условиях резкой нехватки трудового потенциала переток трудовых ресурсов из сферы малого предпринимательства является крайне желательным (за исключением оттока работников из секторов, для которых сфера малого бизнеса является системообразующей);

- развитие системы целевой подготовки и переподготовки кадров для реализуемых (предполагаемых к реализации) инвестиционных проектов совместно с учреждениями, осуществляющими профессиональное образование и профессиональное обучение граждан, и инвесторами.

4. Реализация выявленных приоритетов политики научно-инновационного развития Санкт-Петербурга требует в качестве первого шага выполнить анализ и определить направления развития науки в Санкт-Петербурге, соответствующих трендам развития мировой науки, приоритетам развития Санкт-Петербурга, установленным Концепцией развития Санкт-Петербурга на период до 2030 года, и научно-инновационному потенциалу Санкт-Петербурга.

5. Расположенные в Санкт-Петербурге научные институты ФАНО, ранее входящие в состав РАН:

- обладают достаточным кадровым потенциалом, необходимым для обеспечения эффективной организации научно-инновационной деятельности в соответствии с выделенными наиболее перспективными приоритетными направлениями развития науки в Санкт-Петербурге. При этом низкая доля молодых исследователей по некоторым направлениям свидетельствует о недостаточной эффективности подготовки кадров для перманентного обновления исследовательского потенциала;
- характеризуются финансово-экономическим потенциалом, достаточным для осуществления текущей научно-исследовательской деятельности, однако лишь в ограниченной степени соответствующим потребностям при переходе на научно-инновационную деятельность в соответствии с выделенными наиболее перспективными приоритетными направлениями развития науки в Санкт-Петербурге.

Наиболее перспективные приоритетные направления развития науки в Санкт-Петербурге по отдельным ее областям представлены в разделах 1–9 настоящего отчета.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Сущность методологии, основные направления и примеры задач исследований

В последние три десятилетия вероятностные графические модели сформировали новый, бурно развивающийся раздел искусственного интеллекта. Значимость и важность этого раздела ярким образом подчеркнута решением ACM (the Association of Computing Machinery (ACM)) присудить в 2011 году проф. Джуди Перлу (Judea Pearl) престижнейшую в области информатики премию А.М. Тьюринга (http://amturing.acm.org/award_winners/pearl_2658896.cfm). Разумеется, премия подчеркивает не только значимость обсуждаемого раздела исследований, но и колоссальный вклад проф. Перла в этот раздел — именно он около четверти века назад предложил байесовские сети доверия (Bayesian belief networks), подходы к алгоритмизации вероятностного вывода на них, а также необходимость применения байесовских сетей доверия в исследованиях и системах искусственного интеллекта как одного из вида когнитивных моделей — моделей сложных систем знаний с неопределенностью. Байесовские сети доверия стали первым и остаются одним из основных видов вероятностных графических моделей, рассматриваемых в искусственном интеллекте. Более того, именно они мотивировали интерес исследователей указанной области к остальным вероятностным графическим моделям, среди которых наибольшей известностью пользуются скрытые марковские модели, алгебраические байесовские сети, ассоциативные байесовские сети. С течением времени сформировалась международная ассоциация ученых — The Association for Uncertainty in Artificial Intelligence (auai.org, Ассоциация неопределенности в искусственном интеллекте), — работа которой целиком посвящена байесовским сетям доверия: развитию их теории, применению их в приложениях искусственного интеллекта, поиску родственных подходов к моделированию знаний с неопределенностью, обобщению существующих, компаративному анализу.

Вероятностные графические модели (в том числе и байесовские сети доверия) носят существенно междисциплинарный характер. С точки зрения чистой математики (и, прежде всего, теории вероятностей), они представляют собой совокупность случайных элементов с разреженной сетью зависимостей. Следует отметить, что использования термина «случайный элемент», как его определяет академик Ширяев в учебнике «Вероятность» существенно, поскольку в теориях вероятностных графических моделей

рассматриваются не только случайные величины, но и объекты другой природы. С точки зрения математической статистики и интеллектуального анализа данных, вероятностные графические модели — это способ представить в обозримом, понятном для неподготовленного математически пользователя виде знания, извлеченные из обучающей выборки и, возможно, из других источников. С точки зрения искусственного интеллекта и мягких вычислений, как уже отмечалось, вероятностные графические модели — это модели сложных систем знаний с неопределенностью, снабженных алгоритмами вероятностного или логико-вероятностного вывода в условиях различных видов неопределенности, информационного дефицита. С точки зрения психологии и ряда других наук, традиционно объединяемых под названием «когнитивные науки», вероятностные графические модели — это один из видов когнитивных моделей, а теория вероятностных графических моделей в ряде случаев служит основой исследовательского инструментария когнитивных наук, в частности, в тех сферах, когда нечто «когнитивное» приходится рассматривать в совокупности с чем-то «поведенческим».

Наконец, следует отметить, что вероятностные графические модели открыли новые возможности в развитии теоретического аппарата и, что особенно важно, программного инструментария для таких критических отраслей исследований (как фундаментальных, так и прикладных) как теория надежности, информационная безопасность, обнаружение отказов, распознавание образов и др.

Востребованность и удобство использования вероятностных графических моделей в информатике, информационных технологиях, искусственном интеллекте, когнитивных науках и др. постоянно генерирует как фундаментальные, так и прикладные проблемы, требующие внимания специалистов. В частности, актуальными представляются следующие направления:

1) применение логико-вероятностного подхода к решению задач проверки и поддержания непротиворечивости, синтезу новых знаний в вероятностных графических моделях сложных систем знаний с неопределенностью;

2) в рамках того же подхода — решение задач локального, глобального, структурного обучения вероятностных графических моделей с учетом как заданных параметров их структуры, совокупности сведений о соответствующих случайных элементах, представленных в виде некоторой уже известной системы, так и обучающих выборок, правил, выраженных с помощью конструкций вероятностной логики, а также других источников информации (знаний);

3) развитие подходов к компьютерной визуализации вероятностных графических моделей и иерархии их глобальных и локальных структур;

4) применение вероятностных графических моделей как моделей стохастических процессов, представляющих социально-значимое поведения индивидов и их групп, с целью последующей автоматизации идентификации параметров таких моделей и расчета производных характеристик;

5) разработка новых методов интеллектуального анализа текстов, в частности, методов тематического моделирования, основанных на графических вероятностных моделях, применение разработанных методов в задачах автоматического и автоматизированного анализа текстов научных статей, текстового контента социальных сетей и других порождённых интернет-пользователями текстов, расширения и улучшения других методов обучения (например, рекомендательных систем) посредством интеллектуального анализа текстов;

6) применение вероятностных графических моделей в задачах геномики и биоинформатики, рекомендательных системах, анализе социальных сетей, распознавании и синтезе речи и смежных задачах, комплексах по оценке риска, обнаружению отказов, оценки степени готовности и защищенности и в иных сферах, знания о которых носят вероятностную природу и допускают декомпозицию на относительно небольшие фрагменты;

7) разработка комплекса алгоритмов, структур данных, прототипов программ и программ для проведения вычислительных экспериментов с целью, с одной стороны, апробации полученных фундаментальных результатов, и с другой стороны, анализа возможностей применения полученных теоритических результатов и комплекса алгоритмов в задачах анализа данных в других отраслях наук.

В п.п. 4-6, ориентированном на практические приложения, могут быть рассмотрены вероятностные графические модели рискованного поведения, связанные с опасностью заражения или заболевания и вероятностно-графические модели эпидемиологических процессов, особенно зависящих от структуры социальных сетей/отношений, сложившихся в группах индивидов, находящихся под риском заразиться какой-либо инфекцией и/или заболеть, а также вероятностные графические модели, которые могут быть использованы в автоматизации анализа степени защищенности персонала информационных систем от социоинженерных атак(и в родственных задачах). П.п. 1 и 2 требуется поиск решений не только алгоритмического характера, но и (при существовании) алгебраического, т.е. результаты должны быть

сформулированы на языке алгебры (в частности, линейной алгебры) и на языке теории декомпозиции графов, что существенно для анализа возникающих математических объектов, моделей и алгоритмов их обработки. Результаты п. 7 существенны для того, чтобы результаты п.п. 1–6 стали бы применимыми.

Далее кратко будут представлены конкретные возможности, примеры по наполнению тематики перечисленных направлений по алгебраическим байесовским сетям, вероятностным графическим моделям в рискованном поведении и вероятностным графическим моделям в анализе степени защищенности информационных систем от социоинженерных атак. Следует отметить, что предложенные примеры — некоторые из многих возможных. Они отобраны, поскольку ведутся в учреждениях, расположенных в Санкт-Петербурге и могут быть полезны для города. Состав перечисленных задач может развиваться, пополняться, уточняться, замещаться, переформулироваться и дифференцироваться по мере развития исследований, а также по мере анализа доступных источников.

А.1 Алгебраические байесовские сети (СПИИРАН, СПбГУ)

Алгебраические байесовские сети (АБС) относятся к классу вероятностных графических моделей, наиболее существенное отличие АБС от других представителей этого класса заключается в возможности работать как со скалярными, так и с интервальными оценками вероятности. На уровне своей глобальной (вторичной) структуры АБС представляют собой граф (называемый графом смежности), построенный над набором максимальных фрагментов знаний, математическая модель которых представляет собой идеал положительно означенных цепочек конъюнкций с приписанными им оценками вероятности.

Одна из задач глобального обучения АБС — построение графа смежности над заданным набором максимальных фрагментов знаний. Без решения этой задачи невозможно осуществлять никакой вид логико-вероятностного вывода в АБС, состоящей более чем из одного фрагмента знаний, а для таких АБС сложность этого вывода растет экспоненциально от числа входящих в них переменных.

Для решения указанной задачи требуется выработать критерии качества вторичных структур алгебраических байесовских сетей, на основании которых могло бы осуществляться построение лучшей или оптимальной вторичной структуры (множества оптимальных вторичных структур) на основе данной первичной. Представлением критерия качества может выступать функционал, учитывающий структуру

алгебраической байесовской сети и изменение ее вероятностной семантики при преобразованиях. При построении таких функционалов в близкородственных теориях используются объем памяти, необходимый для хранения сети, и количество информации, характеризующее различие вероятностной семантики двух сетей.

Целью проекта является формирование системы методов и алгоритмов построения вторичной структуры АБС — графа смежности над заданным набором МФЗ, а также разработка реализующих указанные алгоритмы компьютерных программ для проведения вычислительных экспериментов. Достижение поставленной цели, в первую очередь, предполагает решение двух задач: выработку критериев качества графа и создание алгоритмов построения «лучшего» графа смежности.

В отношении обучения вторичной структуры — построения графа смежности — в СПИИРАН получен частичный результат, заключающийся в выделении семейства минимальных по числу ребер графов смежности, которые являются субоптимальным классом графов смежности. Выявлены некоторые свойства минимальных графов смежности, в частности, совпадения множеств минимальных по числу ребер и минимальных с точки зрения нередуцируемости классов смежности; предложено конструктивное описание минимальных классов смежности, а также разработаны алгоритмы построения указанного множества. Фактически, предложен способ построения субоптимального графа смежности через построение множества минимальных графов смежности и выбора определенного его представителя либо через построение случайного минимального графа смежности.

Алгебраические байесовские сети строятся на основе логико-вероятностного подхода, который базируется на концепциях, предложенных Н. Нильссоном в отношении формализации вероятности в контексте пропозициональной логики для использования в интеллектуальных системах. Для представления неопределенности данных и знаний в алгебраических байесовских сетях используются интервальные оценки вероятности, которые были формализованы Хальперном, Фаджином и Меджиддо.

Для исследования необходимых свойств графов смежности будут привлекаться методы теории графов, в том числе теории матроидов. Помимо этого планируется применить методы современной высшей алгебры и топологии, в том числе теории гомотопий, и, наконец, теорию сложности алгоритмов.

А.2 Вероятностные графические модели как модели стохастических процессов, представляющие социально-значимое поведение (СПИИРАН)

В этой части проект направлен на развитие методов поддержки и принятия решений в условиях неполной, неточной, нечеткой и нечисловой информации. Источником информации выступают самоотчеты респондентов об их поведении (ответы на вопросы интервью или анкеты). Дополнительными особенностями такой информации является ее гранулярность, а также ограничения достоверности: высказывания респондента об эпизодах его поведения в силу психологических особенностей человека достаточно надежны либо в отношении нескольких последних таких эпизодов, либо в отношении "рекордных" в каком-то смысле интервалов между соседними эпизодами.

Для данной проблем основные сложности состоят в том, чтобы адаптировать совокупность методов статистики, теории вероятности и мягких вычислений для того, чтобы идентифицировать параметры поведения, воспринимаемого как нечеткий временной ряд или случайный процесс, с последующим использованием указанных параметров для принятия решений в области эпидемиологии, медицины, маркетинга и иных наук, изучающих различные аспекты поведения человека или социальных групп.

Для простоты понимания состояния развития исследований в данной области, и главное — имеющихся проблем реализации предложенного подхода, рассмотрим модельную задачу из эпидемиологии ВИЧ/СПИД.

Эффективных (в частности, приемлемых по затратам) способов прямых измерений инцидент-показателя, наиболее точно характеризующего риск передачи ВИЧ-инфекции в группах риска и иных социальных группах, не существует. Когортное исследование, нацеленное на определение величины инцидент-показателя, чрезвычайно дорого стоит и занимает длительное время.

Однако существует настоятельная потребность в обоснованных количественных оценках эффективности планирующихся и осуществляющихся профилактических (превентивных) программ. Кроме того, наряду с этим исследователям-эпидемиологам и государственным органам здравоохранения необходимо осуществлять мониторинг параметров, характеризующих ситуацию в отношении риска передачи ВИЧ-инфекции (или иных опасных инфекций) на уровне социальных групп и отдельных индивидов. В силу указанных потребностей необходимо разработать методы, модели и методики косвенной оценки инцидент-показателя. Измерение риска заражения отдельного индивида в данное время в данной популяции на основе сведений о его дисадаптивном поведении --

- первостепенная задача при попытке оценить инцидент-показатель косвенно. Кроме того, именно на сведениях о величине индивидуального риска базируются дальнейшие оценки в методиках априорной и апостериорной оценки эффективности превентивных программ, сравнения эпидемиологических ситуаций в двух разных популяциях в один и тот же временной интервал, изучения динамики риска заразиться в некоторой выбранной социальной группе. Цель исследований в данной области — оценить, какое же количество заражений удалось предотвратить в заданной социальной группе, за заданный промежуток времени, при использовании имеющихся финансовых средств.

В настоящее время для опросов респондентов разработаны и применяются два подхода к сбору первичных данных об интенсивности их дизадаптивного поведения, каждый из которых имеет недостатки. Первый подход — прямые (даже, скорее, прямолинейные) вопросы: «Сколько раз Вы делали так в течение последнего месяца (трех, шести, года)?». На такие вопросы респонденты обычно дают практически не соотносящиеся с реальностью ответы. Второй метод — Лайкерт-шкалы --- опросники, в которых используются качественные, а не количественные варианты: «Никогда», «Редко», «Иногда», «Часто», «Всегда» и подобные им возможности для ответа. Вопрос ставится легко, ответ тоже получить несложно, однако эти ответы не несут никаких полезных сведений относительно числа эпизодов или интенсивности рискованного поведения. Ответы по Лайкерт-шкале делают невозможным расчет количественных оценок числа эпизодов, интенсивности дизадаптивного поведения, индивидуального риска и прочих интересующих исследователей показателей.

Возможной альтернативой является подход, опирающийся на ответы респондентов о последних эпизодах рискованного поведения, а также о экстремальных значениях их поведения в заданный временной промежуток. Если использовать в качестве модели рискованного поведения пуассоновский процесс, то по методу максимального правдоподобия оценка интенсивности поведения будет являться отношением числа.

В качестве математической модели поведения респондента (которое в данном исследовании видится, с одной стороны, как серия эпизодов, а с другой стороны, как ряд интервалов между соседними эпизодами (фактически --- временной ряд временных интервалов)) предлагается использовать случайные процессы и временные ряды. На данный момент наиболее перспективными классами случайных процессов с точки зрения целей исследования представляются Пуассоновский процесс и обобщенный Пуассоновский процесс, интенсивность которого представлена случайной величиной. Выбор подходящего класса распределений такой случайной величины и разработка

подходов к оценке параметров ее распределения составляет одну из подзадач исследования.

При обработке высказываний респондента о моментах времени, когда произошли последние эпизоды его рискованного поведения, будут формироваться случайные величины (в вырожденном случае --- детерминированные величины), характеризующие длину временного интервала между моментом интервью и самым отдаленным от него эпизодом и число эпизодов, произошедших в течение этого интервала. На основе этих случайных величин будет строиться случайная величина, характеризующая интенсивность рискованного поведения. В уравнении Пуассоновского процесса (или случайного процесса иного класса) в качестве параметра будет использоваться либо математическое ожидание получившейся случайной величины, либо она сама, либо некоторая функция от нее. Подбор класса распределений и разработка процедур оценки параметров перечисленных случайных величин составляет еще одну подзадачу исследования. Подчеркнем, что оценка параметров распределений будет производиться при весьма ограниченном объеме выборки (не более 3-4 эпизодов) на основе неточных высказываний. Это может потребовать либо преобразования исходных данных к виду, пригодному для использования метода максимального правдоподобия, или метода моментов, или метода максимума математического ожидания, либо, вообще, разработки формализованной экспертной процедуры оценки параметров.

При обработке высказываний респондента о максимальном, минимальном и обычном интервале между эпизодами рискованного поведения описываются распределения, характеризующие длины этих интервалов. На основе этих случайных величин (а точнее, порядковых статистик) методом максимального правдоподобия строится случайная величина, характеризующая число эпизодов рискованного поведения за заданный промежуток времени, а также случайная величина, характеризующая интенсивность рискованного поведения.

Необходимо решить ряд сопутствующих вопросов исследования: а) оценить согласованность ответов респондентов и разработать процедуру для такой оценки б) предложить методы анализа отношения интенсивностей в двух различных группах, либо в группе в разные временные промежутки.

Кроме того, необходимо разработать метод комбинирования оценок индивидуальных рисков в общую оценку инцидент-показателя.

Следует подчеркнуть, что в силу неопределенности, неточности, нечеткости исходных данных, необходимости обрабатывать естественно-языковые "гранулярные"

высказывания, "компенсировать" малочисленность статистических данных знаниями экспертов об особенностях того или иного вида рискованного поведения при решении всех подзадач станет необходимым использование моделей и методов для представления, обработки и комбинирования знаний с неопределенностью. В первую очередь ожидается, что будут использованы методы теории неточных вероятностей (*imprecise probabilities*), теории приближенных рассуждений (*approximate reasoning*), гранулярных вычислений, байесовских сетей и нечеткой логики, а также нечетких временных рядов.

В качестве основной математической модели, увязывающей риск и число эпизодов рискованного поведения, будет использоваться модель, предложенная Беллом и Тревино, которая в изначальном виде разрабатывалась для эпидемиологии ВИЧ/СПИД, и была расширена авторами для применения в других областях научных знаний.

Математические модели и комплекс программ, разработанный в результате исследований, создадут предпосылки для формирования на их основе исследовательского (в первую очередь — опросного) инструментария в науках социогуманитарного цикла, который позволит с приемлемыми затратами и точностью производить оценку различных видов рисков (в частности, риска передачи ВИЧ-инфекции), на основе сведений об ограниченном числе рискованного поведения. Кроме того, решение указанной задачи, сформулированной в терминах современной эпидемиологии, легко обобщается для решения ее задач-аналогов из других областей междисциплинарных исследований: при оценке уровня террористических угроз, степени деструктивности некоторых видов социальных организаций, в маркетинговых исследованиях и других. Отметим, что следует адаптировать рассмотренный подход к таким областям знаний, как медицина (соблюдение режима лечения хронических заболеваний), маркетинг (оценка анализ продаж), муниципального и государственного управление (анализ удовлетворенности населения предоставляемыми услугами).

А.3 Вероятностные графические модели в автоматизации оценки степени защищенности от социоинженерных атак

Анализ рисков информационной безопасности в настоящее время является особо актуальной темой, в силу того, что как страховые компании хотят иметь возможно более точные характеристики о вероятном размере ущерба и необходимой сумме страхования, так и компании, желающие застраховать свои информационные риски, хотят понимать, за что именно и насколько обоснованно платятся те или иные суммы при заключении договора страхования. Кроме того, никакая из названных сторон не хочет терять

собственные ресурсы. Таким образом, необходимо научиться получать адекватные, но в то же время комплексные, агрегированные оценки защищенности информационных систем. Для этого необходим всесторонний анализ защищенности как программно-технической составляющей системы, так и персонала таких систем (их социотехнической составляющей). Для оценки защищенности программно-технической составляющей информационных систем разработано множество методов, которые используются в существующих продуктах для автоматизации анализа защищенности указанных систем, например методологии NIST, OCTAVE, CRAMM. Вместе с тем, методы анализа защищенности пользователей (и персонала в целом) мало освещены и остаются, видимо, мало исследованы специалистами из области информатики и информационной безопасности.

Одной из основных проблем исследований в области социо-инженерных атак является, с одной стороны, разработка подходящих для последующего анализа степени защищенности моделей информационных систем, персонала, набора критичных документов, злоумышленника, а также разнообразных связей между указанными сущностями, а с другой стороны — развитие приемлемых по вычислительной сложности алгоритмов анализа (оценки) защищенности персонала информационных систем. Ожидается, что дополнение (либо даже замена) системы переборных алгоритмов реляционно-алгебраическим подходом (и впоследствии на его основе — реляционно-вероятностным подходом) к представлению исходных данных и организации вычислений позволит уменьшить время обработки сведений об информационной системе и ее персонале, а также время, затрачиваемое на построение набора возможных атак. Использование указанного подхода позволит также увеличить гибкость в задании оценок критичности документов, доступных в системе, оценок шансов успешной реализации атак, описанию системы связей и доступа среди собственно компонент комплекса «информационная система – персонал – критичные документы», и среди указанных компонент и злоумышленника. Наконец, реляционно-алгебраический подход позволяет использовать стандартный инструментарий реляционных баз данных для представления данных в автоматизированных системах анализа защищенности, что в свою очередь может открыть путь к вычислению оценка защищенности на основе SQL-запросов, исполнение которых автоматически распараллеливается и оптимизируется встроенной функциональностью современных СУБД.

В качестве «отправной точки» предлагается использовать модель комплекса «информационная система – персонал – критичные документы», в которой

информационная система представлена в виде графа, узлы которого отвечают программно-техническим компонентам системы, а ребра — связям между таким компонентами. Причем как узлам, так и дугам сопоставлены достаточно богатые информационные модели соответствующих сущностей. Сложноустроенные угрозообразующие воздействия на информационную систему в рамках рассматриваемой базовой модели представляются в виде деревьев атак. В этом случае, анализ степени защищенности информационной системы сводится к анализу набора возможных деревьев атак. (В краткой формулировке процесс выглядит достаточно просто; что, однако, не упрощает ни само исследование вовлеченных объектов и процессов, ни сбор необходимой для оценки информации, ни разработку комплексов программ, формирующих оценку защищенности.)

Для обобщения указанного подхода на комплекс «информационная система— персонал» потребуется разработать ряд моделей (математических, информационных, визуальных и проч.) позволяющих учесть новую подсистему — «персонал» — и ее компоненты, связи внутри этой новой подсистемы, связи между подсистемами «персонал» и «информационная система», связи этих подсистем с внешней средой (прежде всего, имеются в виду лица, действия которых составляют или могут составлять угрозу для безопасности информации, хранящейся в информационной системе).

Кроме того, данный подход может быть применен к полученным в ходе социологического исследования психологическим уязвимостям пользователя.

В целом, результаты исследований в рамках комбинированной логико-вероятностной графической методологии создадут существенный задел для разработки учебных пособий, учебников и иных компонент учебно-методических комплексов по дисциплинам, предназначенным студентам и аспирантам, специализирующимся в области информатики, информационных технологий, программной инженерии, чистой и прикладной математики. Кроме того, разработанные комплексы программ в вузах Санкт-Петербурга расширят технологическую основу для проведения практических и лабораторных работ, а также выполнений курсовых и дипломных проектов, выпускных квалификационных работ, диссертационных изысканий.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Характеристики организаций

Сведения об организациях в основном собраны с их официальных сайтов по состоянию на 09 декабря 2014 г. Полнота и детализация сведений достаточно варьируются. На ту же дату собраны сведения о числе публикаций в системах РИНЦ и SCOPUS (даны в конце описания организаций через слэш — «РИНЦ/SCOPUS»). При анализе публикационной активности следует принимать во внимание значительные сложности по идентификации «принадлежности» публикаций российским организациям; таким образом, приведенные сведения следует считать приблизительными, при более глубоком анализе и восстановлении отсутствующих в системах привязок к организациям показатели могут существенно измениться. Неизвестное значение параметра обозначается «-».

1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН).

В институте работают один член-корреспондент РАН, 41 доктор наук и 60 кандидатов наук. За научные достижения удостоены государственных наград 25 сотрудников института, среди них 13 заслуженных деятелей науки РФ, 7 лауреатов премии Правительства РФ. В аспирантуре обучается 21 аспирант, имеется докторантура аспирантура. Основу научно-экспериментальной базы СПИИРАН составляют автоматизированные рабочие места исследователей на базе современных персональных компьютеров, Компьютерный научно-образовательный центр информационных технологий и Центр коллективного пользования — распределенных вычислений и информационных ресурсов с выходом в Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН (МСЦРАН). Все компьютеры и оба центра объединены в локальную информационно-вычислительную сеть, которая имеет выход в сети Интернет и РОКСОН.

Основными направлениями научных исследований института в настоящее время являются: фундаментальные основы информатизации общества и информационной безопасности; теоретические основы построения аппаратно-программных комплексов обработки информации в реальном масштабе времени; теоретические основы построения информационных технологий для интеллектуальных систем автоматизации научных исследований, управления, производства и других сфер деятельности; фундаментальные основы, модели и методы исследования информационных процессов в сложных системах.

Фундаментальные и прикладные исследования по этим направлениям ведутся по проектам Федеральных целевых программ и программ Минобрнауки РФ, других министерств и служб, грантам РФФИ, РГНФ и зарубежных фондов, по заказам российских и зарубежных ведомств и организаций, при взаимодействии с отечественными и зарубежными университетами, исследовательскими институтами и производственными компаниями. 2121/508.

2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В.А.Стеклова Российской академии наук (ПОМИ РАН).

При институте работают аспирантура, докторантура. ПОМИ РАН проводит фундаментальные поисковые исследования по теоретической математике и математическим моделям теоретической физики: математическая логика и теория алгоритмов, алгебра, теория чисел, геометрия и топология, математический анализ, теория вероятностей и математическая статистика, математические проблемы механики сплошных сред, квантовой физики, геофизики и сейсмологии. 3210/1413.

3) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук (СПбНЦ РАН).

В настоящее время в состав Санкт-Петербургского научного центра РАН входит около 60 учреждений, организаций и предприятий РАН, расположенных в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Из 44 научных коллективов, входящих в СПбНЦ, 33 являются самостоятельными научно-исследовательскими институтами и организациями, 11 — филиалами, отделениями и отделами иногородних (в основном московских) институтов. Среди научных учреждений СПбНЦ — крупнейший академический институт России — Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, в котором трудится более 2 тыс. сотрудников. Крупнейшее учреждение гуманитарного профиля — Библиотека РАН (БАН) насчитывает 620 сотрудников, крупнейший биологический институт — Институт физиологии им. И.П.Павлова — 520. Среднюю часть спектра образуют институты с численностью от ста до шестисот сотрудников. Есть миниатюрные организации с численностью до 10 человек. В Петербурге работают 38 академиков и 83 члена-корреспондента РАН; из общего числа научных сотрудников академических учреждений (4582 человека) 1056 человек имеют научную степень доктора наук и 2240 — кандидата наук.

Основной задачей Научного центра с момента его организации является содействие в развитии фундаментальных исследований в области естественных, технических,

гуманитарных и общественных наук, в том числе исследований, направленных на решение социально-экономических проблем региона. Центр способствует развитию научно-технического потенциала академических учреждений Санкт-Петербурга, организует их взаимодействие в проведении междисциплинарных исследований. В сферу деятельности Центра также входят вопросы подготовки высококвалифицированных научных кадров и развитие международных научных связей. -/-.

4) Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования и науки Санкт-Петербургский Академический университет – научно-образовательный центр нанотехнологий Российской академии наук (СПб АУ НОЦНТ РАН, Академический университет)

В университете действуют бакалавриат, магистратура, аспирантура; в частности, магистратура включает Кафедру математических и информационных технологий, где ведутся исследования в области биоинформатики и машинного обучения. Здания Академического университета оборудованы всем необходимым для проведения учебных занятий и научных конференций различного масштаба на современном уровне. Университет располагает обширными холлами, актовыми театральными залами, а также гостиницей. Для активного отдыха в распоряжении учащихся и сотрудников имеется спортивный комплекс, включающий плавательный бассейн, зал для игровых видов спорта, крытый теннисный корт и тренажерный зал. 141/-.

5) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет" (СПбГУ).

На сегодняшний день в Санкт-Петербургском университете более 30 тысяч студентов, работают 13 000 сотрудников, 6 000 преподавателей. Научно-педагогический состав 5 760 человек, из них 1415 докторов наук и 2880 кандидатов наук, 78 заслуженных деятеля науки и техники, 49 членов и членов-корреспондентов государственных академий наук, 30 лауреата правительственных премий, 15 лауреата именных и международных премий, 7 лауреатов премии Президента РФ. В университете действуют бакалавриат, магистратура, специалитет, аспирантура, докторантура. Материально-техническое обеспечение и оснащенность образовательного процесса: Научная библиотека им. Горького, Базы практик СПбГУ, Научный парк СПбГУ, Спортивная инфраструктура СПбГУ, Студенческий городок. 50763/18761

б) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО).

Общий контингент студентов – 13890 человек, в том числе очной формы обучения – 11198 (81%), 578 человек – по очно-заочной форме обучения и 2115 человек – на заочной форме обучения. Численность ППС составляет 1163 человека (совместителей 315 человек). Численность ППС составляет 1163 человека (совместителей 315 человек), из них 237 докторов наук и 585 кандидатов наук, 28 заслуженных деятелей науки и заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 5 действительных членов и членов-корреспондентов РАН, 1 член-корреспондент Российской академии образования, 27 членов отраслевых академий. В университете действуют бакалавриат, магистратура, аспирантура, докторантура; в контексте машинного обучения следует особо выделить кафедру компьютерных технологий и кафедру речевых информационных систем (базовую кафедру ЦРТ). По состоянию на 01.04.2013 г. университет располагается в 46 зданиях общей площадью 175375 квадратных метров, из которых 8 зданий относятся к памятникам культурного наследия, использует территорию 21 земельного участка общей площадью 252 839 квадратных метров. При этом учебно-научные здания и общежития расположены в городе Санкт-Петербурге. В Приозерском районе Ленинградской области обеспечено функционирование учебно-спортивно-оздоровительного центра «Ягодное» и спортивно-оздоровительного лагеря «Колосково». 9656/2921.

7) Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации (ВКА имени А.Ф.Можайского).

В академии работают 135 докторов наук; 874 кандидатов наук; 119 профессора; 422 доцента; 23 заслуженных деятелей науки Российской Федерации; 6 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации; 6 заслуженных изобретателей Российской Федерации; 36 членов международных академий и академий Российской Федерации; 16 лауреатов премии Правительства Российской Федерации; 5 почетных работников науки Российской Федерации; 71 почетный работник высшего профессионального образования. В академии действуют специалитет, адъюнктура, докторантура.

Подготовка научно-педагогических и научных кадров ведется 34 научными школами академии, одна из которых – научная школа по военно-прикладной геофизики –

выдвинутая на соискание гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ нашей страны. основными направлениями работы научных школ являются: оперативное искусство и тактика; радиационная, химическая, бактериологическая защита; исследование технологических и эксплуатационных характеристик конструкционных материалов; баллистическое обеспечение и теория полётов; эксплуатация программного обеспечения и защиты информации вычислительных комплексов; статистическая радиолокация и радионавигация; прикладная геофизика; теория управления и системный анализ. 1637/-.

8) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)" (СПбГЭТУ "ЛЭТИ").

На данный момент в ЛЭТИ обучается около 8000 студентов, аспирантов и слушателей. В университете работают 5 членов-корреспондентов РАН, 20 лауреатов национальных и международных наград, более 200 профессоров и докторов наук. В университете действуют бакалавриат, магистратура, специалитет, аспирантура, докторантура. Научно-исследовательский и инновационный комплекс СПбГЭТУ помимо учебно-научных лабораторий семи факультетов включает Технопарк, 8 научно-образовательных центров, 5 научно-исследовательских институтов. Технопарк университета предоставляет комплекс бизнес-услуг 38 малым инновационным предприятиям. В малых фирмах Технопарка ежегодно работают более 300 преподавателей, студентов и аспирантов. 5753/1587.

9) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПбГЛТУ).

Общая численность обучающихся в СПбГЛТУ - 7300 чел, в т.ч. по образовательным программам высшего образования - 6873 чел, программам среднего профессионального образования - 427 чел. Из 405 преподавателей университета 53 имеют ученую степень доктора наук, 257 - ученую степень кандидата наук, 50 - ученое звание профессора, 190 - ученое звание доцента. В университете действуют бакалавриат, магистратура, специалитет, аспирантура, докторантура. СПбГЛТУ обладает современной учебно-лабораторной и научной базой, учебно-производственными объектами (Лисиснский и Охтинский учебно-опытный лесхозы), Ботанический сад, парк. Инфраструктура университета в том числе включает объекты социального назначения: общежития, профилакторий, Северный спортивный лагерь. В состав СПбГЛТУ входят

пять учебных корпусов, учебно-спортивный и 8 общежитий. Учебно-лабораторная база университета включает 36 компьютерных классов. Всего единиц компьютерной техники - 855, функционирует Интернет, локальная сеть вуза. В учебном процессе используются лицензированное программное обеспечение, собственные разработки. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет продолжает развивать научную и инновационную инфраструктуру, как базу для создания в будущем мощной научно-образовательной среды, интегрирующей мультидисциплинарные научные исследования и отраслевые технологии мирового уровня для повышения конкурентоспособности лесопромышленного комплекса России и смежных отраслей в условиях ускоряющегося научно-технического развития и глобализации мировой экономики. Наряду с другими направлениями научных исследований в Академии активно развиваются геномные исследования в области древесных растений и в области биоинформатики. 1978/177.

10) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Санкт-Петербургский филиал, (НИУ ВШЭ, г. Санкт-Петербург).

В университете (филиале) действуют бакалавриат, магистратура, аспирантура. Важным центром исследований в области является Лаборатория интернет-исследований (ЛИНИС), где ведутся исследования тематических моделей (таких, как латентное размещение Дирихле) и их применение к задачам анализа текстов для целей социальных наук. -/-.

11) Общество с ограниченной ответственностью «Центр речевых технологий» (ЦРТ).

Общество с ограниченной ответственностью «Центр речевых технологий» (ЦРТ) — российская компания с более чем 24-летней историей. За это время компания накопила богатый научный потенциал и стала абсолютным лидером российского и значимым игроком международного рынка речевых технологий и мультимодальной биометрии. Сегодня ЦРТ является ведущим мировым разработчиком инновационных систем в сфере высококачественной записи, обработки и анализа аудио-видео информации, синтеза и распознавания речи. Создаваемые в ЦРТ биометрические решения обеспечивают высокую точность распознавания личности по голосу и изображению лица в реальном времени. Эти решения находят успешное применение в государственном и коммерческом секторе, от небольших экспертных лабораторий до сложных систем безопасности национального

масштаба. В компании работает более 350 специалистов; активно ведутся научные исследования и разработки вероятностных моделей для распознавания и синтеза речи, мультимодальной биометрии и других смежных задач. 27/46

12) Открытое акционерное общество "Специализированная инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика" (ОАО "СПИК СЗМА").

В ОАО "СПИК СЗМА" создано программное средство – "Программный комплекс АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0", основанное на [общем логико-вероятностном методе \(ОЛВМ\)](#) и методах системного анализа и реализующее новую информационную технологию автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ) высокоразмерных систем. АРБИТР предназначен для: автоматизированного моделирования и расчета показателей надежности структурно-сложных систем, включая объекты использования атомной энергии (ОИАЭ) и другие опасные производственные объекты (ОПО); автоматизированного моделирования и расчета вероятностей возникновения (невозникновения) аварийных ситуаций и аварий ОПО, включая ОИАЭ. В настоящее время комплекс АРБИТР позволяет автоматически строить математические модели и рассчитывать [показатели свойств надежности, стойкости, живучести, устойчивости, технического риска, ожидаемого ущерба и эффективности](#) функционирования структурно-сложных систем различных видов, классов и назначения. В АРБИТР используется новое логически универсальное графическое средство структурного описания исследуемых свойств систем – [схема функциональной целостности \(СФЦ\)](#). Логическая полнота аппарата СФЦ обеспечена использованием впервые реализованного полного набора операций "И", "ИЛИ" и "НЕ". Это позволило применять в АРБИТР как все существующие монотонные технологии моделирования надежности и безопасности систем (блок-схемы, графы связности, деревья отказов и деревья событий), так и новую технологию автоматизированного построения немонотонных моделей сложных системных объектов и процессов. -/-.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Байесовские сети доверия в синтезе оценки интенсивности социально-значимого поведения в условиях дефицита информации

В области мягких вычислений байесовские сети доверия являются одним из классических теоретических аппаратов для представления и обработки данных и знаний с неопределенностью [17, 22, 24, 42]. Следует отметить, что байесовские сети доверия [17, 22] используются для моделирования связей в некоторой системе случайных элементов в тех случаях, когда в силу сложности системы или неполноты и неточности имеющейся информации о её частях невозможно полностью описать совместное вероятностное распределение рассматриваемых случайных элементов.

Байесовская сеть позволяет не только представлять данные с неполнотой вычислительно приемлемым образом, но также позволяет проводить апостериорный вероятностный вывод, заключающийся в пропагации (распространении по сети) поступившего свидетельства — некоторых новых обуславливающих данных, на основе которых строятся апостериорные оценки означиваний случайных элементов. Другими словами, алгоритмы вывода в байесовских сетях позволяют определять апостериорные распределения входящих в модель случайных элементов при появлении новых данных о значении наблюдаемых величин.

Аппарат байесовской сети доверия позволяет учитывать как имеющиеся статистические данные, так и экспертную информацию об интересующей исследователя области. Такие модели разрабатываются и изучаются в различных дисциплинах: искусственном интеллекте (ИИ) [38, 39], математической статистике [4], статистической физике [47], теоретической информатике, когнитивных исследованиях (например, [40, 41, 46]). Во многих исследованиях модели на основе байесовских сетей доверия строятся при решении задач оценки риска и обеспечения надежности, например, банковской сферы [6], безопасности [1, 9], телекоммуникационных сетей [3, 36], транспорта [46], а также в эпидемиологических и медицинских исследованиях [33, 41].

Целью данного приложения является описание подходов к применению методов аппарата байесовских сетей доверия для решения задачи оценки параметров рискованного поведения респондентов.

В.1 Постановка задачи

Моделирование поведения человека на основе ограниченного числа известных параметров необходимо при решении задач, относящихся к различным областям, включая исследования в психологии, экономике, социологии, медицине, эпидемиологии, компьютерной безопасности и т.д. [1, 2, 25, 31, 44]. Подобной задачей является и разработка моделей и методов для обеспечения поддержки принятия решений в условиях, когда для получения данных невозможно организовать классические формы длительного наблюдения и многофакторного измерения параметров процесса, но имеются сведения, полученные от экспертов, предположения о классах и семействах таких процессов, а также ограниченное число измеряемых особенностей такого процесса [25]. В частности, такие данные возникают при изучении поведения посредством опросов участников или экспертов.

В работах [10, 12, 25] предложен подход, позволяющий получать количественные данные об эпизодах поведения из опросов респондентов в условиях невозможности длительного наблюдения или измерения параметров, а также рассмотрены методы получения (средствами теории случайных процессов) оценки риска на основе данных о последних эпизодах рискованного поведения.

Сведение исходной задачи к построению байесовской сети доверия [11] позволяет воспользоваться уже существующим мощным алгоритмическим аппаратом теории байесовских сетей доверия и свободно распространяемым программным инструментарием (например, [35]) для проведения вычислительных экспериментов, а затем, и для использования построенной модели в практических целях.

В.2 Описание модели

В основу предлагаемой модели [11] положены сведения о последних эпизодах поведения, а также минимальном и максимальном интервалах между последовательными эпизодами. Такие данные получены в результате опроса или анкетирования респондентов.

На рис. В.1 показана обобщенная модель $M = (G(V, L), \mathbf{P})$ в виде байесовской сети доверия, основывающаяся на большем числе величин. Структура модели представлена графом $G(V, L)$, где $V = \{t_{01}, t_{12}, t_{23}, t_{\min}, t_{\max}, \lambda, n\}$ — множество вершин, $L = \{(u, v) : u, v \in V\}$ — множество направленных связей между вершинами. Другими

словами, на рис. В.1 представлены случайные элементы, входящие в модель, и связи между ними.

Так, t_{ij} — случайная величина, характеризующая длину интервала между i -ым и j -ым с конца эпизодами, распределена экспоненциально (в предположении, что поведение представляет собой пуассоновский процесс). Кроме того, дополнительную информацию можно получить при включении в модель минимального и максимального интервалов между эпизодами (t_{\min} и t_{\max} соответственно). Все случайные величины, входящие в модель, дискретизированы.

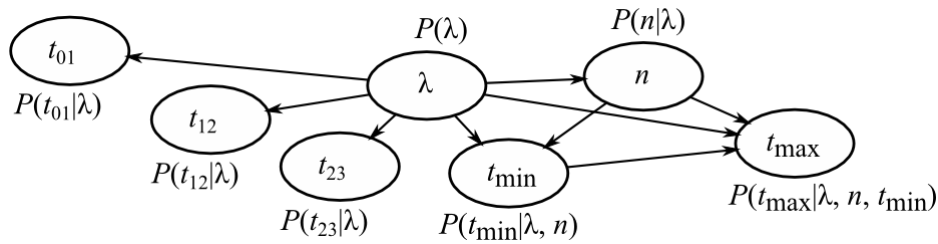


Рис. В.1 – Модель рискованного поведения, основанная на данных об эпизодах поведения.

Тензоры \mathbf{P} условной вероятности, характеризующие переходы между узлами сети,

где $\mathbf{P} = \{P(t_{j,j+1}|\lambda), P(t_{01}|\lambda), P(t_{\min}|n, \lambda), P(t_{\max}|n, \lambda, t_{\min}), P(n|\lambda), P(\lambda)\}$ определяются

следующим образом ($l_s = 1, \dots, k_s$, где k_s — число дизъюнктивных промежутков при дискретизации случайных величин; $s = 0, \dots, 4$; $j = 1, \dots, 2$; $i = 1, \dots, m$, где m — число дизъюнктивных промежутков при дискретизации величины λ) [11]:

$$p(t_{j,j+1}^{(l_j)}|\lambda^{(i)}) = e^{-a\lambda^{(i)}} - e^{-b\lambda^{(i)}}, \quad j = 0, 1, 2, \quad t_{j,j+1}^{(l_j)} = [a; b];$$

$$p(t_{\min}^{(l_3)}|n, \lambda^{(i)}) = e^{-an\lambda^{(i)}} - e^{-bn\lambda^{(i)}}, \quad t_{\min}^{(l_3)} = [a; b];$$

$$p(n|\lambda^{(i)}) = \frac{(\lambda^{(i)}T)^n}{n!} e^{-\lambda^{(i)}T};$$

$$p(t_{\max}^{(l_4)}|n, \lambda^{(i)}, t_{\min}^{(l_3)}) = e^{(n-1)\lambda^{(i)}t_{\min}^{(l_3)}} \left(\left(e^{-\lambda^{(i)}t_{\min}^{(l_3)}} - e^{-\lambda^{(i)}b} \right)^{n-1} - \left(e^{-\lambda^{(i)}t_{\min}^{(l_3)}} - e^{-\lambda^{(i)}a} \right)^{n-1} \right), \quad t_{\max}^{(l_4)} = [a; b].$$

После полного определения тензоров условных вероятностей для всех узлов модели численные расчеты апостериорного распределения интенсивности рискованного поведения при поступлении статистических данных будут выполнены программным обеспечением, например GeNIe&SMILE [35]. Апостериорное распределение позволяет

судить об интервале оценки интенсивности, которого достаточно для дальнейшего принятия решения об уровне риска.

В.3 Пример оценки индивидуальной интенсивности

Пусть возможные значения интенсивности разбиты на дискретные интервалы $[0;0,01)$, $[0,01;0,02)$, $[0,02;0,03)$, $[0,03;0,05)$, $[0,05;0,07)$, $[0,07;0,1)$, $[0,1;0,2)$, $[0,2;0,5)$, $[0,5;1)$, $[1;+\infty)$ с вероятностями попадания в каждый интервал 0,12 для первых восьми интервалов, с вероятностью попадания в интервал $[1;+\infty)$ равной 0,01 и 0,03 в интервал $[0,5;1)$. Такое распределение обусловлено предварительными знаниями о предметной области — в случае рискованного поведения вероятность, что событие (например, незащищенный половой контакт) произойдет чаще, чем 1 раз в два дня достаточно мала, а про остальные интервалы нам неизвестно ничего, поэтому вероятности распределены равномерно. При применении модели к анализу других видов поведения следует учитывать подобные особенности соответствующей предметной области. В общем случае распределение подобного вида может быть получено по статистическим данным либо по предположениям о типе непрерывного распределения случайной величины, характеризующей интенсивность.

Таким образом, дискретная величина $\hat{\lambda}$ является мультиномиальной (рис. В.2).

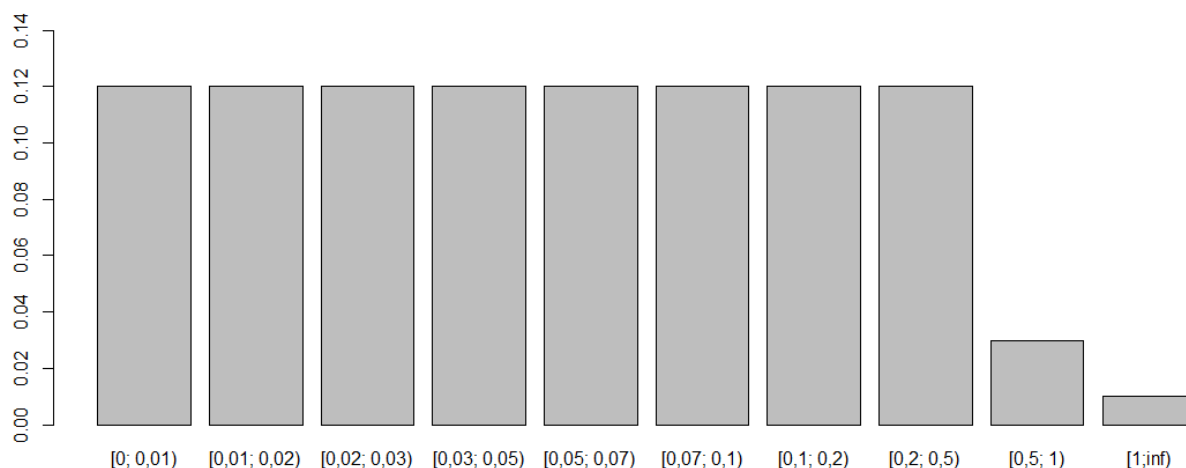
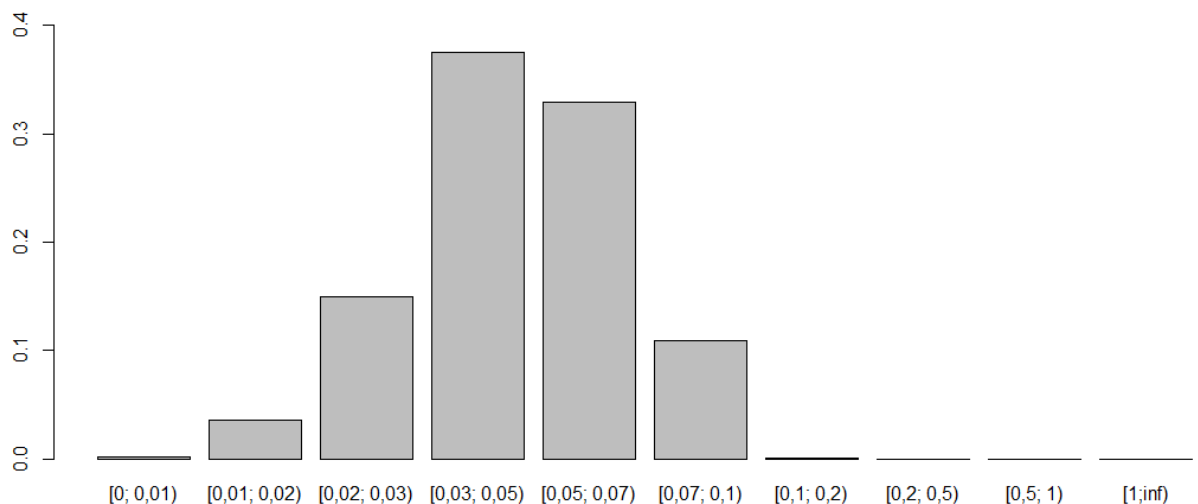


Рис. В.2 – Априорное распределение интенсивности

Возможные значения $\hat{t}_{j,j+1}$, $j=0,1,2$, \hat{t}_{\min} и \hat{t}_{\max} также разбиваются на дизъюнктивные промежутки. Например, $t_{12}^{(1)}=[0;0,1)$, $t_{12}^{(2)}=[0,1;1)$, $t_{12}^{(3)}=[1;7)$, $t_{12}^{(4)}=[7;30)$, $t_{12}^{(5)}=[30;180)$, $t_{12}^{(6)}=[180;+\infty)$, для остальных вышеперечисленных случайных величин в текущем модельном примере будем рассматривать такое же разбиение, в общем случае разбиения не обязательно совпадают.

Пусть на вопрос о трех последних эпизодах получен ответ вида «последний эпизод произошел четыре дня назад, предпоследний — две недели назад, а третий с конца — месяц назад, минимальный интервал между эпизодами один день, а максимальный — два месяца». Переведя такой ответ в длины (в днях) интервалов между эпизодами, получим $T_{01}=4$, $T_{12}=10$, $T_{23}=16$, $T_{\min}=1$, $T_{\max}=60$. Отметим, что $T_{01} \in [1;7)$, $T_{12} \in [7;30)$, $T_{23} \in [7;30)$, $T_{23} \in [1;7)$, $T_{23} \in [30;180)$ другими словами, мы получили в качестве исходных данных значения $t_{01}^{(3)}$, $t_{12}^{(4)}$, $t_{23}^{(4)}$, $t_{\min}^{(3)}$ и $t_{\max}^{(5)}$. После включения этих данных в рассматриваемую модель производится пересчет вероятностных распределений случайных элементов (заметим, что пересчет выполняется программным обеспечением GeNIe&SMILE). Апостериорное распределение интенсивности поведения, в рассматриваемом примере имеет следующий вид (рис. В.3).



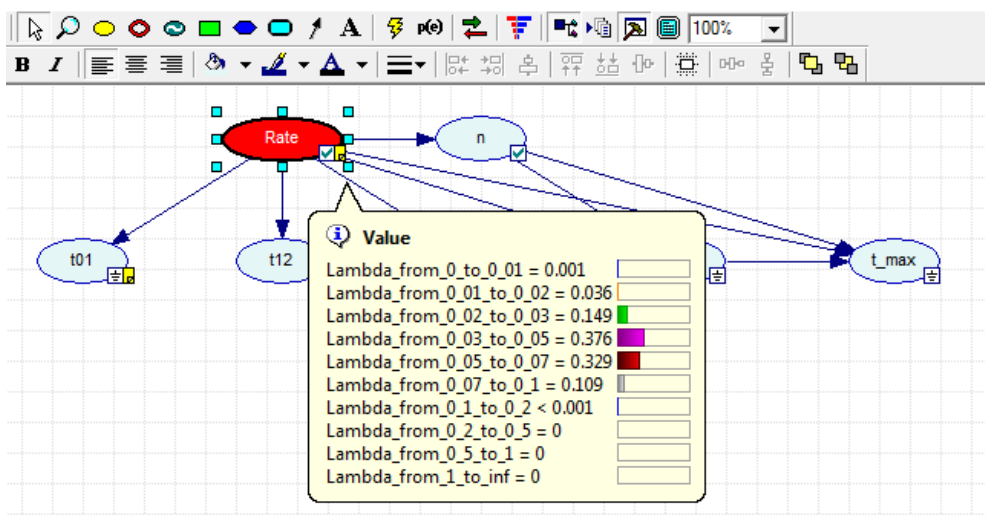


Рис. В.3 – Апостериорное распределение

По полученному распределению можно сделать вывод, что с вероятностью 0,999 эпизоды поведения происходят не чаще одного раза в 10 дней. Если же рассмотреть более узкие интервалы, то интенсивность с вероятностью более 0,7 лежит в интервале $[0,03;0,07)$, что дает приблизительную оценку частоты поведения как один эпизод в 14–33 дня или, другими словами, один раз в 2–4 недели.

В.4 Оценивание интенсивности поведения в группе

В предыдущем разделе был показан результат применения модели на одном наборе ответов, другими словами, оценена интенсивность поведения одного респондента. Однако отметим, что чаще в исследованиях необходимо вычислять оценку интенсивности для целой группы, или популяции. Например, в случае мониторинга интенсивности незащищенных половых контактов как одного из видов поведения с высоким риском передачи или получения ВИЧ-инфекции, важным является значительное изменение интенсивности изучаемого поведения в целом в группе. Такое изменение может быть, например, показателем успешности проведенных мероприятий (обучения, внедрения социальной рекламы и т.д.), в то время как изменение интенсивности поведения только одного человека может быть вызвано личными причинами и не позволит сделать какие-либо выводы об эффекте, оказанном интервенцией.

Как отмечалось ранее, в модели В.1, описанной в разделе В.2, индивидуальной интенсивности соответствует мультиномиальная случайная величина $\hat{\lambda}$. Обозначим через

$\mathbf{L} = (L_1, L_2, \dots, L_k)$ — вектор возможных значений λ , а $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ — вектор соответствующих вероятностей $q_i = P(\hat{\lambda} = L_i)$, где k — число дизъюнктивных промежутков при дискретизации непрерывной величины λ . Так в приведенном в разделе 3 примере $k = 10$, $L_3 = [0,02; 0,03)$, а $q_3 = P(\hat{\lambda} = [0,02; 0,03)) = P(\lambda \in [0,02; 0,03))$.

Для получения общей оценки интенсивности в группе случайные величины, соответствующие индивидуальным интенсивностям, при дискретизации разбиваются на одинаковые интервалы, то есть $\mathbf{L}_j = \mathbf{L}$, для любого $j \in [1; n]$, где n — размер группы (выборки), в то время как распределение вероятностей \mathbf{q}_j определяется для каждого $j \in [1; n]$.

Таким образом, необходимо при заданном априорном распределении интенсивности в группе получить апостериорное распределение, причем в качестве наблюдений (свидетельств) выступают индивидуальные мультиномиальные распределения интенсивности.

Для решения подобных задач применяется распределение Дирихле [30, 32, 34, 45], функция плотности вероятности $f(x_1, x_2, \dots, x_k; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$ которого показывает вероятность того, что вероятность каждого из k взаимоисключающих событий равна x_i при условии, что каждое событие произошло $\alpha_i - 1$ раз:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k) = \frac{\Gamma\left(\sum_{i=1}^k \alpha_i\right)}{\prod_{i=1}^k \Gamma(\alpha_i)} \prod_{i=1}^k x_i^{\alpha_i - 1},$$

где $\Gamma(y)$ — гамма-функция, $x_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^k x_i = 1$, $\alpha_i > 0$, $i \in [1; k]$.

Распределение Дирихле является сопряженным априорным распределением к мультиномиальному распределению [34], то есть если мы рассмотрим случайную величину $\mathbf{q} \square \text{Mult}(\mathbf{q})$ — \mathbf{q} имеет мультиномиальное распределение с вектором вероятностей \mathbf{q} — с наблюдаемым значением $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ и на \mathbf{q} задано априорное распределение Дирихле $\mathbf{q} \square \text{Dir}(\boldsymbol{\alpha})$, то апостериорное распределение также является

распределением Дирихле: $p(\mathbf{q}|\mathbf{x}) \propto \text{Dir}(\boldsymbol{\alpha} + \mathbf{x})$ [34]. Другими словами, вычисление апостериорных вероятностей при получении наблюдения сводится к пересчету параметра распределения. Получение апостериорного распределения интенсивности в группе основывается на сложении векторов вероятностей индивидуальных распределений и последующей их нормировке.

В.5 Пример оценивания интенсивности в группе

Апробация модели проведена на данных, полученных в рамках полевого исследования 502 пациентов кожно-венерологического диспансера №9 Калининского района Санкт-Петербурга, в мае–ноябре 2011 года.

Исследуются два вида рискованного поведения: потребление алкоголя и незащищенные половые контакты. Для каждого респондента известны данные о последнем, предпоследнем и третьем с конца эпизодах рассматриваемого поведения, а также минимальном и максимальном интервалах между эпизодами. В текущем примере для каждого из видов рискованного поведения анализируются случайные подвыборки объемом 200 респондентов.

Рассмотрим такое же разбиение интенсивности на дискретные интервалы, как и в примере вычисления индивидуальной интенсивности, то есть на интервалы $[0;0,01)$, $[0,01;0,02)$, $[0,02;0,03)$, $[0,03;0,05)$, $[0,05;0,07)$, $[0,07;0,1)$, $[0,1;0,2)$, $[0,2;0,5)$, $[0,5;1)$, $[1;+\infty)$. Априорное мультиномиальное распределение интенсивности представлено на рис. 3-1. В качестве априорного распределения для вектора вероятностей \mathbf{q} возьмем

распределение Дирихле с параметрами $\boldsymbol{\alpha} = \left(\underbrace{0,001 \dots 0,001}_k \right)$, то есть $\mathbf{q} \propto \text{Dir}(\boldsymbol{\alpha})$. Такой выбор параметров позволять существенно снизить влияние априорного распределение на результат, таким образом, апостериорное распределение обусловлено поступающими свидетельствами об индивидуальных интенсивностях.

Апостериорное распределение получено GeNIe&SMILE [GeNIe] с использованием дополнительно разработанной программы для автоматизации обработки целого массива данных [28]. Апостериорное распределение интенсивности потребления алкоголя представлено на рис. В.4. Так, у всех респондентов интенсивность меньше 0,5, то есть эпизоды рискованного алкопотребления происходят не чаще одного раза в два дня. С

вероятностью более 0,9 значение интенсивности в группе принадлежит промежутку $[0,01;0,1)$, то есть эпизоды потребления алкоголя происходят в среднем один раз в 10–100 дней, что показывает, однако, в целом, без тяжелых случаев

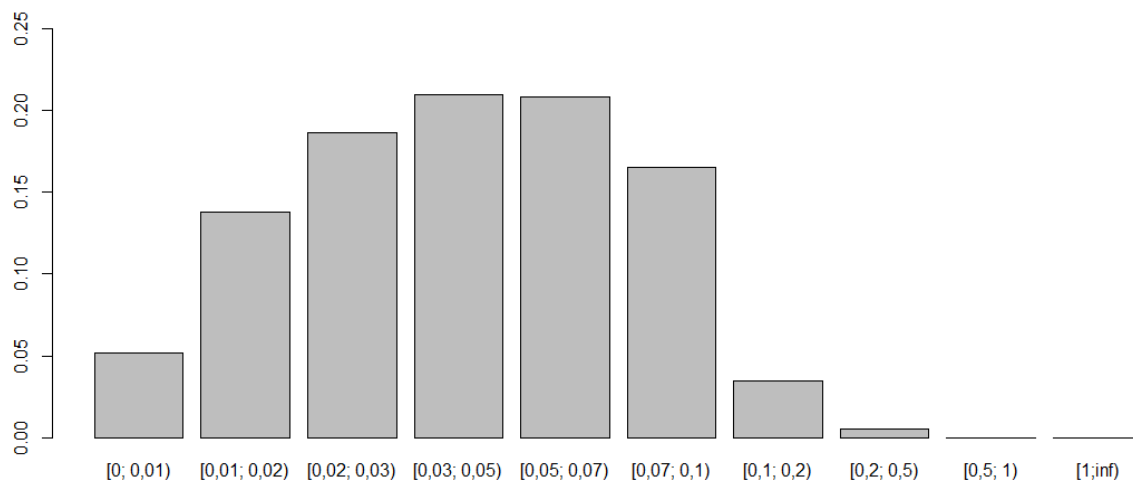


Рис. В.4 – Апостериорное распределение интенсивности потребления алкоголя

Апостериорное распределение интенсивности незащищенных половых контактов представлено на рис. В.5. Так, у всех респондентов интенсивность меньше 0,5, то есть эпизоды происходят не чаще одного раза в два дня. Однако с вероятностью более 0,2 значение интенсивности в группе принадлежит промежутку $[0,1;0,5)$, что показывает значительную долю поведения с высокой интенсивностью: один раз в 2–10 дней. Общее смещение интенсивности в сторону более высоких значений свидетельствует о достаточно частом поведении такого вида, что может быть обусловлено меньшей рискованностью такого поведения, так как рассматривались незащищенные половые контакты с регулярным партнером.

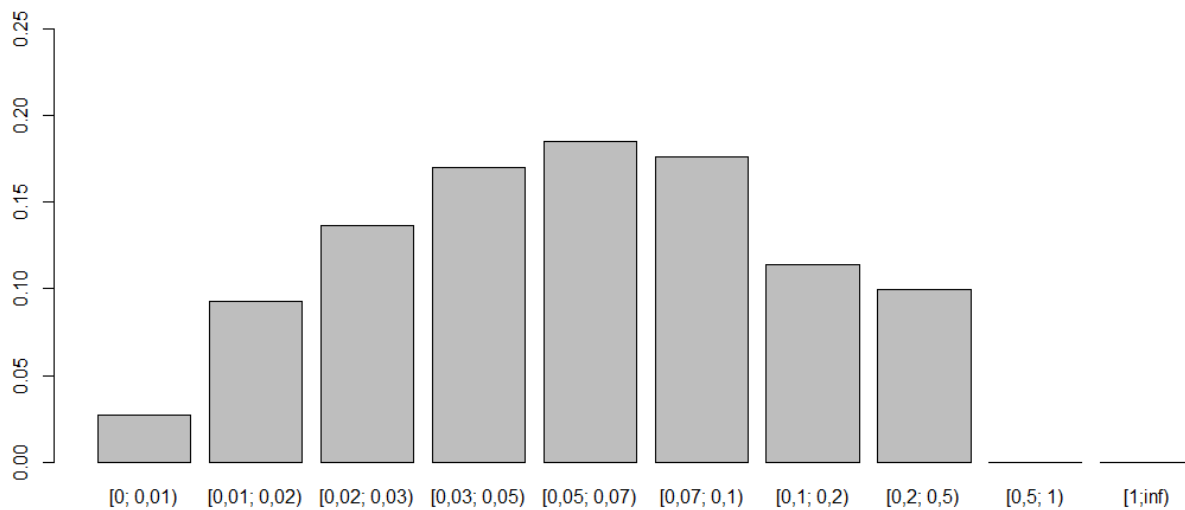


Рис. В.5 – Апостериорное распределение интенсивности незащищенных половых контактов

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Вероятностные графические модели и родственные модели в моделировании социо-инженерных атак и оценки степени защищенности от них персонала информационных систем

Тенденции развития современного бизнеса зачастую требуют сохранения конфиденциальности корпоративной информации. Утечки конфиденциальной информации могут привести к существенным финансовым потерям, а порой и к закрытию бизнеса, если конфиденциальная информация попала к недобросовестному конкуренту. Утечки конфиденциальной информации могут быть связаны как с проблемами и незащищенностью программно-технической составляющей информационной системы организации, так и с пользователями такой системы. Утечка конфиденциальной информации от пользователей информационных систем может быть осуществлена по нескольким причинам: из-за социо-инженерных атакующих воздействий злоумышленника, когда пользователь введен в заблуждение и злоумышленник получает требуемую конфиденциальную информацию, а также из-за инсайдерских атак самих пользователей информационной системы. Инсайдерские атаки пользователей информационных систем могут быть осуществлены также с привлечением социо-инженерных атакующих воздействий, но в данном случае источник социо-инженерного атакующего воздействия будет находиться внутри организации.

Существуют разные типы социо-инженерных воздействий злоумышленника на человека. Одним из ярких примеров является события, произошедшие в течение 2010-2011 гг. в г. Москве. Произошел настоящий бум мошеннических действий в отношении пожилых людей. Мошенники звонили пенсионерам по домашнему телефону, представлялись работниками Администрации Президента, Аппарата Правительства, Центрального банка, Министерства финансов и других официальных учреждений. Они сообщали собеседникам, что принято решение об оказании именно ему персональной материальной помощи. Для этого интересовались о наличии и размере вклада в банке. В случае, если сумма превышала 50 000 рублей, пенсионеру предлагали перечислить всю сумму на конкретный счет физического лица в ОАО «Сбербанк России», после чего сумма якобы будет удвоена (утроена) и возвращена пожилому человеку. Многие пенсионеры, которым было свойственно некритичное восприятие окружающего мира, стали жертвами преступников в первые же дни с момента начала масштабных

мошеннических действий. В течение первой недели банки уяснили ситуацию, проинформировали правоохранительные органы и стали спрашивать пенсионеров, пытавшихся снять все деньги со своего счета.

Инсайдерская атака персонала может быть проиллюстрирована следующим примером. В апреле 2007 года суд итальянского г. Модена, где расположена штаб-квартира Ferrari, признал двух бывших работников этой компании виновными в промышленном шпионаже. По словам представителя обвинения, сотрудники Ferrari Анджело Сантини и Мауро Яккони, уволившись из фирмы в 2002 году, перешли на работу в компанию Toyota. Однако перед своим увольнением они скачали файлы с конфиденциальной информацией о разработках Ferrari в области проектирования болидов Формулы-1, которые впоследствии были переданы представителям японского автопроизводителя. Полученные данные были использованы японцами при создании болида Toyota FT103y. [auto.mail.ru/news?id=22216]

Приведенные примеры иллюстрируют крайне низкую степень защищенности людей от социо-инженерных атакующих воздействий злоумышленника. Такого рода атаки могут привести к утечкам конфиденциальной информации, следствием чего, в свою очередь, могут стать существенные финансовые потери организации. Таким образом, проблема защиты критичной информации в настоящее время является одной из самых актуальных в информационных технологиях. Общепринятый подход к решению данных проблем заключается в развитии, диверсификации и усложнении применяемых технических мер обеспечения безопасности. В то же время, каждая защищаемая информационная система имеет санкционированных пользователей, которые на законных основаниях работают в ней и зачастую имеют легальный доступ к конфиденциальной информации. Проблема разграничения доступа к конфиденциальной информации разбивается на несколько подзадач. Первая задача — это отсеечение тех пользователей, которым работа с конфиденциальной информацией не нужна. Подобные вопросы легко решаются изменением политик доступа пользователей к документам. Вторая задача — пользователю требуются определенные критичные документы в его работе. Нельзя ограничить доступ таких пользователей к конфиденциальной информации, так как это может нарушить нормальное течение бизнес-процессов в организации. Наконец возможен третий вариант. Это технические работники, которые тем или иным способом обрабатывают конфиденциальную информацию по поручению своих руководителей. Данные пользователи также подвержены СИ-атакам. В то же время к ним трудно применить ограничение политик доступа, так как задачи работы с конфиденциальными

данными возникает постоянно, и, если руководитель будет каждый раз ждать смены политик безопасности, применяемых к его подчиненным, это может привести к серьезным временным затратам, что зачастую недопустимо в современном бизнесе. Таким образом, даже если в организации очень строго расписаны все политики доступа, то все равно существует риск утечки конфиденциальной информации через легальных пользователей информационной системы.

Неотъемлемой частью основной задачи оценки степени защищенности пользователей информационных систем является оценка вероятности успеха социо-инженерных атакующих воздействий злоумышленника. Целью работы является развитие моделей комплекса «информационная система – критичные документы – персонал – злоумышленник» на основе применения вероятностно-реляционных моделей, а также представление данных моделей для описания распространения вредоносного контента среди пользователей социальных медиа.

Г.1 Описание моделей

Приложение посвящено в первую очередь вопросам подверженности пользователей манипулятивным воздействиям, но не воздействиям на программно-технической составляющей. В материале рассматривается информационная модель (более точно, набор моделей) «информационная система – критичные документы – персонал – злоумышленник», которая является развитием модели «информационная система – персонал – критичные документы» элементами которой являются: 1) информационная сеть с со связями между хостами; 2) пользователи с психологическими особенностями и доступом к хостам; 3) критические документы, размещенные на хостах; 4) злоумышленник, который осуществляет социо-атакующее воздействие на пользователей системы на основе одного из известного ему атакующего воздействия, ограниченный в ресурсах и времени атаки. Такое представление содержит следующие модели: модель пользователя, модель устройства информационной системы, модель критичного документа и модель злоумышленника. Рассмотрим подробнее представленные модели. Предположим, что в системе есть k устройств, l пользователей, v уязвимостей пользователей.

Г.1.1 Модель пользователя и профиль уязвимости

Модель пользователя включает профиль уязвимостей пользователя, содержащий степени проявления уязвимостей пользователя, доступ пользователя к устройствам

информационной системы, а также связи с другими пользователями. Таким образом, модель имеет вид:

$$U_i = \left(\{V_j^i\}_{j=1}^v; \{Ac_j^i\}_{j=1}^k; \{L_k^i\}_{k=1}^l \right),$$

где $V_j^i(D)$ — степень проявления j -ой уязвимости i -ого пользователя, $\{Ac_j^i\}_{j=1}^k$ — наличие доступа у i -ого пользователя к устройству под номером j , $\{L_l^i\}_{l=1}^n$ — наличие и вес связи у рассматриваемого пользователя с l -ым пользователем.

Необходимо дать несколько комментариев о профиле уязвимостей пользователей. Согласно проведенному пилотному исследованию [ссылка на Ксюшин диплом], гипотезой которого была взаимосвязь уровнем проявления психологических особенностей личности и степенью выраженности уязвимостей пользователя, удалось установить связь между психологическими особенностями личности и рядом уязвимостей.

Г.1.2 Модель злоумышленника и социо-инженерные атаки

Модель злоумышленника включает информацию об объеме доступных ему ресурсов, известных социо-инженерных атакующих воздействиях, которые он может применить, а также о доступном ему времени. Модель представима в виде:

$$A_i = \left(R^i; \{At_j^i\}_{j=1}^v; T^i \right),$$

где R^i — доступные i -ому злоумышленнику ресурсы, $\{At_j^i\}_{j=1}^v$ — перечень известных i -ому злоумышленнику социо-инженерных атакующих воздействий, а T^i — время доступное i -ому злоумышленнику для совершения социо-инженерных атакующих воздействий. Социо-инженерные атаки злоумышленника бывают двух типов. Первый тип атак — атаки манипуляционного характера. В такого рода атаках злоумышленник использует свою квалификацию, то есть известные ему социо-инженерные атакующие воздействия. Примером такого воздействия может быть такая ситуация. В 2011 году в г. Москве в дополнительный офис ОАО «Сбербанк России» зашел представительного вида мужчина. На лацкане его пиджака скромно располагался флажок депутата Государственной думы. Он выбрал одну из сотрудниц, обратился к ней и назвал «Милославским Олегом Богдановичем». Посетитель сообщил, что он является VIP-клиентом банка и назвал номер своего личного счета. Кассир-операционист (работавшая в банке второй день) вошла в систему, перепроверила номер счета «Милославского» и потеряла дар речи от того, что общается с очень богатым и влиятельным человеком. Четко фиксируя реакцию собеседницы, «Милославский» сообщил, что хочет перевести 50 000

000 рублей на другой свой счет, недавно открытый в ОАО «ВТБ-24». При этом мошенник не предъявил никаких документов. Операционист доложила заместителю руководителя дополнительного офиса, та также ни в чем не усомнилась и дала добро на оформление операции. Таким образом, злоумышленник путем формирования реакции сотрудников смог успешно выдать себя за владельца счета и совершить противозаконные действия, не встречая препятствия со стороны сотрудников банка, манипулятивным путем заставив их действовать в обход должных инструкций.

Вторым типом атаки выступают атаки с осуществлением какого-либо вида услуг в обмен на доступ к конфиденциальным данным, то есть атаки компенсационного характера. Услуги в определенном смысле конвертируемы в денежном эквиваленте, поэтому ресурсами злоумышленника в данном случае выступают денежные средства. Необходимо отметить, что в рассматриваемой парадигме ресурсы затрачиваются на второй тип социо-инженерных атак, в отличие от первого типа, на который ресурсы не затрачиваются.

Г.1.3 Модель информационной системы и программно-технических устройств

Модель программно-технических устройств имеет в своем составе набор программных приложений, установленных на данном устройстве, связи между устройствами информационной системы, а также набор критичных документов, которые хранятся на данном устройстве. Таким образом, модель имеет вид:

$$CM_i = \left(\left\{ Apps_j^i \right\}_{j=1}^m ; \left\{ L_j^i \right\}_{j=1}^k \right),$$

где $\left\{ Apps_j^i \right\}_{j=1}^m$ — набор программных приложений, установленных на данном устройстве, $\left\{ L_j^i \right\}_{j=1}^k$ — набор связей данного устройства с другими устройствами информационной системы.

Г.1.4 Модель критичных документов

Модель критичных документов представима в виде урона, который может быть нанесен компании в случае нарушения конфиденциальности данного критичного документа. Формальное выражение данной модели представимо в виде:

$$CD_i = \left(Dm^i ; \left\{ H_j^i \right\}_{j=1}^k \right),$$

где — урон, который может быть нанесен компании в случае получения несанкционированного доступа к конфиденциальным данным.

Г.2 Представление элементарного события «успех социо-инженерного атакующего воздействия злоумышленника»

Рассматривая социо-инженерные атаки злоумышленника следует подчеркнуть, что целью таких воздействий является достижение злоумышленником критичных документов, хранящихся в информационной системе. Успех атаки, которая заключается в достижении критичных документов, разбивается на несколько шагов. Элементарным шагом такой атаки является социо-инженерное атакующее воздействие злоумышленника на пользователя информационной системы. Поэтому рассмотрим элементарное событие «успех социо-инженерного атакующего воздействия злоумышленника». Вероятность такого события для пользователя i описывается формулой

$$P(R; At_i; T | V_{i1}, \dots, V_{ik})$$

То есть успех социо-инженерного атакующего воздействия злоумышленника на пользователя, обладающего определенными уязвимостями, при наличии у злоумышленника определенного количества ресурсов, запаса времени и знаний о какой-то совокупности элементарных социо-инженерных атакующих воздействий.

В случае если рассматривается ситуация, когда одно социо-инженерное атакующее воздействие злоумышленника влияет на одну уязвимость пользователя, то тогда вероятность успеха социо-инженерного атакующего воздействия злоумышленника представима в виде

$$P_{suc} = \frac{V_i(D)}{V_{i\max}} \quad 1)$$

При рассмотрении социо-инженерных атак второго вида, то есть компенсационных атак, злоумышленником, необходимо построить показатель ресурсопотребления подобной атаки. Для моделирования такого показателя представляется целесообразным привлечь теорию математического моделирования коррупции.

Стоит также отметить, что существуют различные виды благ, которые может оказывать злоумышленник. То есть существуют социо-инженерные атаки требующие ряд ресурсов еще до начала атаки, и злоумышленник теряет ресурсы вне зависимости от итога проведенной атаки. Также существуют атаки, требующие от злоумышленника передачи ресурсов после завершения успешной социо-инженерной атаки.

При рассмотрении ситуаций, когда одно социо-инженерное атакующее воздействие злоумышленника влияет на совокупность уязвимостей пользователя, вероятность успеха социо-инженерного атакующего воздействия злоумышленника представима в виде

$$P_{suc} = 1 - \prod_{j=1}^l \left(1 - \frac{V_{ij}(D)}{V_{ij\max}} \right) \quad 2)$$

Г.3 Моделирование распространение социо-инженерной атаки злоумышленника на графе социальных связей пользователей

Пользователи информационной системы организации и связи между ними представимы в виде графа социальных связей пользователей. Данный граф позволяет проводить моделирование распространения социо-инженерной атаки злоумышленника среди пользователей информационной системы, и, таким образом, определить степень защищенности критичной информации, содержащейся в информационной системе.

Рассмотрим граф социальных связей, представленный на рисунке Г.1.

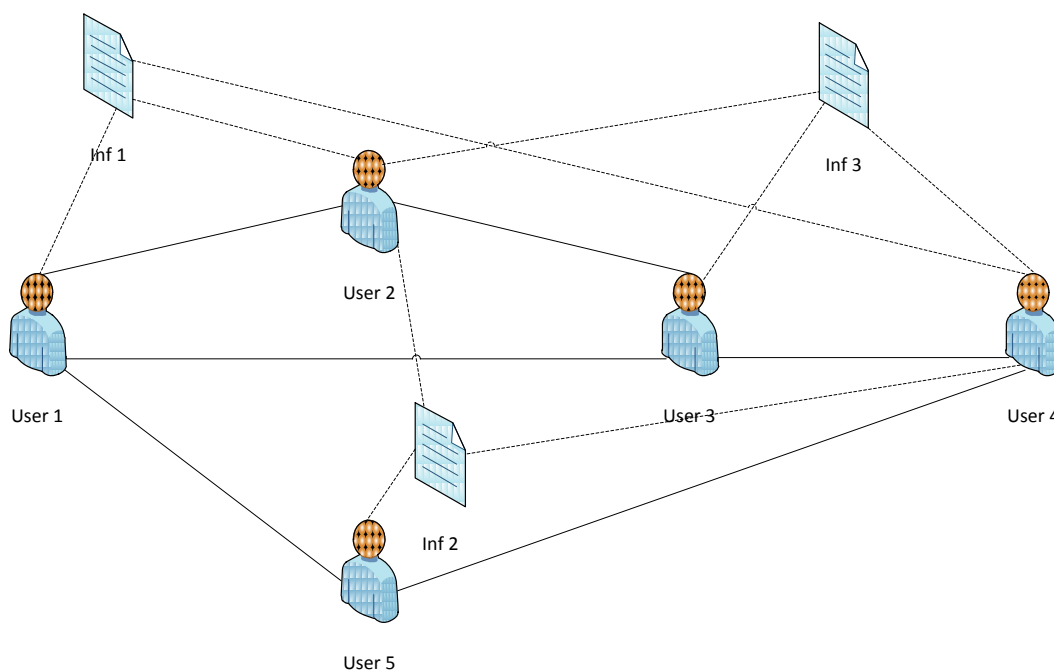


Рис. Г.1 – Граф социальных связей пользователей.

На данном графе представлена модель информационной системы. В примере информационная система состоит из пяти пользователей. Для наглядности данный граф не содержит устройства, содержащиеся в информационной системы, в то же время на нем отображен доступ пользователей к критичным документами, содержащихся в информационной системе.

В предыдущем разделе была рассмотрена вероятность успеха социо-инженерного атакующего воздействия злоумышленника на пользователя информационной системы. Для каждого пользователя, представленного на данном графе, такая вероятность

представима в виде P_1, \dots, P_5 , согласно формулам (1) и (2). Стоит отметить, что дуги графа, между пользователями-вершинами, имеют свой вес, согласно тому, как это было описано в модели пользователя информационной системы. Обозначим такие веса через r_{ij} , где i и j это номера пользователей от кого, и, соответственно, к кому идет связь. Для оценки вероятности достижения злоумышленником критичной информации, в случае совершения социо-инженерной атаки злоумышленника на пользователей информационных систем, необходимо учитывать фактор времени, как один из элементов модели злоумышленника. В рассматриваемой модели предполагается, что на каждое социо-инженерное атакующее воздействие злоумышленника требуется 1 единица времени. Таким образом, вероятность успеха достижения злоумышленником критичной информации будет зависеть от доступного злоумышленнику времени. Формула вероятности успеха достижения злоумышленником критичной информации будет выглядеть следующим образом:

$$P(\text{Inf1}) = 1 - (1 - \bar{p}_1)(1 - \bar{p}_2)(1 - \bar{p}_4). \quad 3)$$

При этом, если $T=1$, то в данном случае $\bar{p}_1 = p_1, \bar{p}_2 = p_2, \bar{p}_4 = p_4$. При увеличении доступного злоумышленнику времени, возникает дополнительные возможности перехода от одного пользователя к другому, Такие вероятности представимы в виде:

$$\bar{p}_1 = 1 - (1 - p_1)(1 - \hat{p}_2 r_{21})(1 - \hat{p}_3 r_{13})(1 - \hat{p}_5 r_{15}), \quad 4)$$

$$\bar{p}_2 = 1 - (1 - p_2)(1 - \hat{p}_1 r_{12})(1 - \hat{p}_3 r_{32}), \quad 5)$$

$$\bar{p}_4 = 1 - (1 - p_4)(1 - \hat{p}_3 r_{34})(1 - \hat{p}_5 r_{45}). \quad 6)$$

В случае $T=2$, то $\hat{p}_1 = p_1, \hat{p}_2 = p_2, \hat{p}_3 = p_3, \hat{p}_5 = p_5$.

В случае $T=3$, то есть максимальное число шагов-переходов социо-инженерной атаки злоумышленника среди пользователей информационной системы равно 3, формула расчета вероятности успеха достижения злоумышленником критичной информации будет уточнена в сторону увеличения. При этом для каждой величины $\bar{p}_1, \bar{p}_2, \bar{p}_3, \bar{p}_5$ будет свое, в силу того, что при рассмотрении возможностей перехода необходимо учитывать уже

рассмотренных пользователей. Таким образом, для каждой из формул (4), (5), (6), выражения будут выглядеть следующим образом:

$$\text{Для (4)} \quad \hat{p}_2 = 1 - (1 - p_2)(1 - p_3 r_{32}), \quad 7)$$

$$\hat{p}_3 = 1 - (1 - p_3)(1 - p_2 r_{23})(1 - p_4 r_{43}), \quad 8)$$

$$\hat{p}_5 = 1 - (1 - p_5)(1 - p_4 r_{45}). \quad 9)$$

$$\text{Для (5)} \quad \hat{p}_1 = 1 - (1 - p_1)(1 - p_3 r_{13})(1 - p_5 r_{15}), \quad 10)$$

$$\hat{p}_3 = 1 - (1 - p_3)(1 - p_1 r_{13})(1 - p_4 r_{14}). \quad 11)$$

$$\text{Для (6)} \quad \hat{p}_3 = 1 - (1 - p_3)(1 - p_2 r_{23})(1 - p_1 r_{13}), \quad 12)$$

$$\hat{p}_5 = 1 - (1 - p_5)(1 - p_1 r_{15}). \quad 13)$$

Таким образом, выведены формулы для оценки вероятности успеха достижения злоумышленником критичной информации. В случае увеличения доступного злоумышленнику времени, изменение формул будет проходить аналогично представленным переходам.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Алгебраические байесовские сети: задачи автоматического обучения

Как отмечено в [37], развитие информационных систем, способных обрабатывать данные и знания с неопределенностью, характеризуется двумя видами дефицитов, замедляющими это развитие: 1) дефицитом моделей для представления данных и знаний с неопределенностью и 2) дефицитом данных и знаний.

Дефицит первого вида обусловлен проблемой представления и систематической обработки неопределенности знаний. Эта неопределенность во многих областях носит системный характер, поэтому игнорирование (исключение из рассмотрения) подобных знаний зачастую невозможно. Дефицит второго вида связан тем, что не во всех областях знаний существуют эксперты, и не все эксперты готовы делиться своими знаниями. Кроме того, при попытках систематизировать знания часто оказывается, что они неполны или частично недостоверны.

Алгебраические байесовские сети (АБС) представляют собой вероятностную графическую модель баз фрагментов знаний с неопределенностью [15, 22]. Одно из направлений развития теории АБС, связанное с разработкой системы алгоритмов локального и глобального автоматического обучения указанных сетей, вносит свой вклад в решение научных проблем, связанных с двумя указанными видами дефицитов [22].

В случае вероятностных графических моделей в понятие автоматического обучения включаются процессы 1) построения структуры системы (модели, графической модели) и 2) подбора значений параметров для такой системы (модели). Предполагается, что компьютерная программа автоматически, уже без вмешательства специалистов, достигает указанных результатов, обрабатывая доступные исходные данные, сведения, знания. Постановка задачи автоматического обучения дается в наиболее общем виде. Процессы, объекты и цели обучения, а также исходные данные в каждом конкретном классе вероятностных графических моделей могут быть гораздо более глубоко диверсифицированы.

Цель приложения — описать задачи автоматического обучения (локального и глобального) алгебраических байесовских сетей, подходы к решению таких задач [15, 18, 21, 22], а также вопросы, остающиеся на данный момент открытыми.

Определения некоторых терминов опущены для краткости изложения. Мы будем следовать той терминологической базе, которая уже установилась в теории алгебраических байесовских сетей [15, 22].

Локальное автоматическое обучение в алгебраических байесовских сетях производится в отношении отдельно взятого фрагмента знаний, структура которого заранее известна — это идеал конъюнктов над небольшим количеством атомарных пропозициональных формул. Локальное обучение состоит в приписывании каждому конъюнкту вероятности истинности, иначе говоря — в параметрическом синтезе, где в роли параметров выступают оценки вероятности истинности конъюнктов — элементов фрагмента знаний. Таким образом, по обучающей выборке должен быть сформирован вектор — оценки вероятностей для идеала конъюнктов или вектор — оценки вероятностей для набора квантов (особых конъюнкций, в которые входят однократно все атомарные пропозициональные формулы, заданные над фиксированным алфавитом, или их отрицания). В роли обучающей выборки выступает набор квантов.

Теория АБС позволяет оперировать не только со скалярными оценками вероятностей, но также и с интервальными. В последнем случае существующее для скалярных вероятностей матрично-векторное соотношение не будет иметь место, однако переход между векторами оценок и может быть осуществлен за счет решения серии задач линейного программирования [21].

С одной стороны, обучающие выборки могут иметь «дефекты»: в элементах выборок может быть пропущен один элемент или несколько. С другой стороны, в дополнение к обучающей выборке могут иметься сведения о логических или вероятностно-логических связях между конъюнктами из фрагмента знаний.

В случае выборок с пропусками получить скалярные оценки вероятностей без дополнительных предположений невозможно. Пропуском называется отсутствие сведений об означивании одного или нескольких литералов в элементе выборки. Вообще говоря, выборке с пропусками соответствует семейство распределений вероятностей; дополнительные предположения о логических или вероятностно-логических связях между означиваниями литералов или элементами фрагмента знаний необходимы, чтобы из всего семейства распределений выбрать или сформировать какое-то одно. Примером предположения может быть, например, утверждение, что пропуски в означиваниях литералов не зависят от означиваний других литералов в элементе выборки.

В том случае, когда нет информации, позволяющей получить выборку без пропусков, непротиворечащую исходной выборке, возникает необходимость работы с

интервальными оценками вероятностей. Характер пропусков может влиять на качество (степень неопределенности) полученных результатов — оценок вероятности истинности конъюнктов во фрагменте знаний.

Для обработки обучающей выборки с пропусками существуют алгоритмы обучения, результатами которых является вектор интервальных оценок [19, 21, 23]. Одним из вариантов является подсчет частот с учетом возможных значений пропусков. Таким образом определяются верхние и нижние границы, в которых находится вероятность конъюнктов фрагмента знаний. Отметим, что сложность части алгоритмов локального автоматического обучения, ориентированных на получение скалярных оценок по выборкам с пропусками, оказывается экспоненциально зависящей от общего числа пропусков в выборке. Это происходит из-за того, что такие алгоритмы основываются на переборе и анализе всех возможных выборок без пропусков, которые получаются из имеющейся выборки с пропусками. Вычислительная сложность таких алгоритмов мотивирует поиск более эффективных способов обработки неопределенности в исходных данных, возникающей из-за пропусков в элементах выборки.

Таким образом, одной из наиболее актуальных проблем локального обучения АБС является задача синтезировать значения параметров — оценок вероятности истинности конъюнктов во фрагменте знаний — на основе неполных данных. При этом следует учитывать, что дефекты данных, имеющие какие-либо зависимости от контекста, могут сильно повлиять на результат процесса обучения. Кроме того, отсутствие данных об одновременном означивании каких-то двух атомов либо существенно усложнит, либо вообще не даст возможности сделать выводы об их связи.

Глобальное автоматическое обучение в алгебраических байесовских сетях нацелено на формирование двух глобальных структур алгебраических байесовских сетей: первичной и вторичной [15, 22], — по исходным данным, которые могут иметь совершенно различный вид [18].

Вопросы, связанные с построением первичной структуры (формирование набора максимальных фрагментов знаний) по выборочным данным, остаются открытыми, на сегодняшний день в теории АБС эта область требует дальнейших исследований. Построение вторичной структуры по первичной изучено значительно лучше: оно состоит в построении графа смежности на множестве вершин, соответствующих максимальным фрагментам знаний. Переход от фрагментов знаний к максимальным фрагментам знаний строится на том предположении, что мы рассматриваем связи между атомами, поэтому если один фрагмент знаний поглощается другим, то все связи первого будут

подмножеством связей второго, что позволяет исключить из рассмотрения фрагменты знаний, которые полностью поглощаются другими фрагментами знаний.

Задачей глобального автоматического обучения вторичной структуры АБС является построение над сформированным набором максимальных фрагментов знаний такого графа смежности, который был бы «лучшим» среди возможных вторичных структур с точки зрения возможности осуществления и эффективности работы алгоритмов логико-вероятностных априорного и апостериорного выводов.

Набор входящих во фрагмент знаний атомов обычно называется весом соответствующей вершины. В графе смежности, представляющем собой вторичную структуру АБС [22], пересечение весов концов каждого ребра не пусто.

Это ограничение серьезно уменьшает число графов, которые могут быть рассмотрены в качестве вторичной структуры. Граф смежности, в который входят все возможные ребра, называется максимальным графом смежности. Доказано [27], что максимальный граф смежности единственен на данном наборе вершин (т.е. на данном наборе фрагментов знаний).

Возможна ситуация, когда любой граф смежности, построенный над данным набором вершин, не будет связным, что будет означать независимость знаний, отнесенных к разным компонентам связности. В этом случае компоненты связности максимального графа смежности рассматриваются по отдельности как наборы максимальных фрагментов знаний, над которыми строятся собственные вторичные структуры.

Выбор той или иной вторичной структуры серьезно отражается на работе алгоритмов логико-вероятных выводов и поддержания непротиворечивости. Наиболее труднопреодолимую проблему представляют собой циклы в графах смежности. Несмотря на то, что задача обработки отдельных циклов разрешена [15], в общем случае неизвестны алгоритмы ЛВВ на циклической вторичной структуре. Для широко класса структур с циклами поддержание работы этих алгоритмов невозможно. В качестве иллюстрации этого можно рассмотреть распространение свидетельства, которое поступает в один из узлов графа и должно распространяться по всем остальным вершинам по ребрам вторичной структуры. Для корректной работы алгоритма свидетельство должно обойти все вершины. Под обходом в данном случае понимается пересчет и согласование интервалов оценок внутри соответствующих фрагментов знаний. В случае циклической вторичной структуры возможна ситуация, когда в один и тот же узел по имеющимся связям с другими узлами-фрагментами знаний АБС приходят два или более

свидетельства, при этом алгоритмы обработки двух или более свидетельств, поступивших в один и тот же узел неизвестны.

С рассмотренной точки зрения представляется, что «лучшую» вторичную структуру необходимо выбирать среди ациклических вторичных структур [22]. Однако, к сожалению, было показано, что возможность построения ациклической вторичной структуры над данным набором фрагментов знаний доступна не всегда [27], поэтому одной из перспективных областей исследования является изучение минимальных графов смежности, которые определяются как графы смежности, имеющие наименьшее число ребер, и которые, как было доказано [5], являются нередуцируемыми. Множество минимальных графов смежности совпадает с множеством деревьев смежности, если ациклические вторичные структуры возможны для данного набора максимальных фрагментов знаний, а в общем случае, как предполагается, имеют наименьшее число циклов.

В исследовании множества минимальных графов смежности получены серьезные результаты. Владениями называются компоненты связности значимого сужения веса, из которого были удалены все ребра веса. Построена исчерпывающая классификация владений, благодаря которой доказана [27] фундаментальная теорема о множестве минимальных графов смежности, которая утверждает, что множество минимальных графов смежности является декартовым произведением множеств особых подграфов максимального графа смежности. Доказано [5], что множество магистрально связных графов является матриодом, выражена мощность множества минимальных графов смежности, а также уточнены свойства определенных видов сужений.

Полученные результаты позволили сформулировать алгоритм построения отдельного минимального графа смежности [5], а также алгоритмы построения системы всех минимальных графов смежности [26]. Алгоритмы построения отдельного минимального графа смежности не могут гарантировать, что построенный граф будет «лучшим» в указанном нами смысле, тогда как алгоритмы построения множества минимальных графов смежности требуют дальнейшего выбора эффективной (т.е., например, минимальной по числу ребер) структуры.

В обоих случаях требуется построение третичной структуры алгебраической байесовской сети — графа клик. Графом клик называется ориентированный граф, построенный на множестве всех клик максимального графа смежности (а не только максимальных клик, как это может пониматься при использовании понятия «граф клик»). Ребро от одной клики к другой проведено тогда и только тогда, когда первая клика

содержит вторую и не существует третьей клики, которая бы содержала вторую и не содержала бы первую. Третичная структура, кроме рассмотренного случая, будет, на наш взгляд, иметь достаточно широкое применение в исследовании различных проблем глобального обучения АБС.

Помимо построения графа на существующем наборе фрагментов знаний без изменений этого набора, активно разрабатывается и другой путь построения «лучшей» вторичной структуры. Этот подход состоит в том, чтобы на основе графа взаимовхождений — графа на атомах, в котором два атома соединены, если входят в один и тот же максимальный фрагмент знаний, построить новый набор фрагментов знаний на тех же атомах, но уже гарантированно допускающий построение ациклической вторичной структуры. При этом сохраняется вхождение пары атомов в один и тот же фрагмент знаний. Исследования в рамках данного подхода начаты недавно, соответствующая система алгоритмов еще не изучена.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Принцип декомпозиции в ВГМ и логико-вероятностный вывод в АБС

Широкое распространение интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) и их активное применение зачастую на основе неточных, неполных, нечисловых, не вполне согласованных сведений накладывают на методики получения результатов или выводов, выдаваемых подобными системами, существенные требования, включающие, в том числе, требования по достоверности и корректности получаемых результатов.

Несмотря на вычислительные мощности современных компьютеров, полный перебор всевозможных связей всех объектов, фигурирующих в модели, учитывающей особенности исходных сведений, по-прежнему остается невозможным. В такой ситуации разработчики ИСППР делают различные предположения, существенно уменьшающие области поиска лучших (или приемлемых, субоптимальных) решений. Кроме того, обычно применяются разного рода гипотезы о самой структуре имеющихся данных/сведений/знаний. В частности, одной из популярных гипотез является гипотеза о декомпозируемости знаний. Иными словами, разработчики ИСППР явно или неявно полагают, что имеющиеся сведения могут быть разбиты на небольшие группы тесно связанных между собой утверждений о предметной области [22, 43] — фрагменты знаний (ФЗ), которые, в свою очередь, могут быть объединены в сетевую структуру. Одна из парадигм, использующая такой подход, — это парадигма алгебраических байесовских сетей (АБС) [22, 13–16, 20, 29]. Алгебраические байесовские сети позволяют работать как с точечными, так и с интервальными оценками вероятности истинности утверждений.

Е.1 Декомпозиция знаний

Согласно принципу декомпозиции считается, что эксперт может достаточно детально охарактеризовать связи между двумя–тремя–четырьмя утверждениями о предметной области [43] — в каком-то смысле получается «фрагмент знаний» (ФЗ). Таких фрагментов знаний много, они образуют базу фрагментов знаний (БФЗ). Для того чтобы использовать ФЗ и БФЗ в ИСППР, сначала требуется рассмотреть математические модели ФЗ и БФЗ, разработать соответствующие структуры данных и снабдить их алгоритмами обработки.

С математической точки зрения возникающие объекты могут быть рассмотрены как система случайных элементов [29], которая, как правило, организована в виде графа со специфическим свойствами или решетки [16, 20].

Декомпозиция системы знаний позволяет разбить задачи вывода на два типа. Первый — это локальный вывод [15]. Он проводится только в отдельно взятом фрагменте знаний. В силу ограниченности размера одного ФЗ на данном шаге можно применять достаточно сложные с точки зрения времени вычисления алгоритмы, которые полностью гарантируют корректность и точность вычислений, но не создают критических проблем с объемом вычислений. Второй тип — глобальный вывод [16]. Он позволяет учесть взаимное «влияние» данных из различных ФЗ. Поскольку предполагается, что связи между фрагментами знаний достаточно редки, требующийся объем вычислений также не достигает критического уровня. Благодаря декомпозиции можно строить эффективные алгоритмы либо точно решающие задачу глобального вывода, либо дающие «накрывающие» оценки приемлемой точности.

Е.2 Виды логико-вероятностного вывода

В общем случае мы рассматриваем не просто набор фрагментов знаний, а *структурированную сеть фрагментов знаний (ССФЗ)* [22], частными случаями которых являются АБС [13–16, 22]. То есть, кроме самых ФЗ определены и отношения между ними. Например, в случае, когда одни и те же переменные входят в разные ФЗ, появляется еще один набор ограничений, накладываемый на значения переменных — условия согласования оценки возможных значений переменных, попавших в различные фрагменты знаний. Набор условий согласования между ФЗ сопоставляется всей АБС в целом. АБС являются одной из моделей базы фрагментов знаний (БФЗ) с неопределенностью, а БФЗ — частным случаем баз знаний.

Относительно АБС решаются следующие задачи [13, 14, 22]: 1) проверки и поддержания непротиворечивости (различной степени и, возможно, семантики); 2) априорного вывода (вывода без свидетельств); 3) апостериорного вывода (вывода по свидетельствам); 4) введения системы и расчета показателей устойчивости (чувствительности) вышеупомянутых процессов и состояний АБС.

Рассмотрим ФЗ, переменным которого приписаны точечные оценки значений. Этот ФЗ будет непротиворечив, если на совокупности точечных оценок выполняются все требования, вытекающие из аксиоматики меры истинности (в нашем случае — теории вероятностей). В случае интервальных оценок условие непротиворечивости

формулируется следующим образом: для любой точки из интервала оценки значения любой переменной ФЗ существует (хотя бы один) набор точек по одной из каждого интервала оценки значений оставшихся переменных такой, что получающееся точечное означивание переменных ФЗ непротиворечиво.

Задача поддержания непротиворечивости ФЗ [22] сводится к тому, чтобы из интервальных оценок значений переменных удалить точки, неудовлетворяющие условию непротиворечивости. Этот процесс называется согласованием оценок истинности или процессом поддержания непротиворечивости. В результате мы получаем либо ФЗ с непротиворечивыми оценками из ФЗ с возможно несогласованными оценками, либо ситуацию, когда исходные оценки несовместны, то есть противоречивы.

Выделяются четыре степени непротиворечивости АБС. Самая простая, локальная, достигается, когда каждый отдельный ФЗ из АБС непротиворечив. Степень экстеральной непротиворечивости достигается, когда выполнено требование локальной непротиворечивости и в любой паре ФЗ согласованы оценки значений общих переменных. Степень интеральной непротиворечивости достигается, когда одновременно выполняется весь набор согласующих ограничений, приписанный АБС в целом. Степень глобальной непротиворечивости достигается, если АБС удастся погрузить в объемлющий ФЗ, и этот ФЗ получается непротиворечивым [15, 22].

Результатом согласования оценок значений переменных, входящих в АБС, являются более точные оценки, из которых исключены значения, несовместные с другими. Поиск согласованных оценок сводится, по существу, к решению нескольких задач линейного программирования [7, 8, 22].

На основе имеющихся в АБС оценок истинности можно построить (или учесть при поддержании непротиворечивости) оценку истинности утверждения (пропозиции), не представленного в этой сети [8]. В данном (и во многих других случаях), переменная, представляющая значение истинности нового утверждения, выражается через существующие переменные с помощью линейной формы. Поиск согласованной оценки истинности осуществляется с помощью тех же принципов, что используются в процессе поддержания непротиворечивости, и сводится к решению задач линейного программирования [15, 22].

Процессы поддержания непротиворечивости и априорного вывода в силу их сходства объединяют под общим названием синтез согласованных оценок истинности.

Апостериорный вывод (известный так же как байесовский вывод) имеет два вида исходных данных: ФЗ или АБС и кортеж свидетельств. На основе формулы вычисления

условной вероятности производится «обусловливание» оценок истинности кортежем свидетельств — событий, о которых мы узнали, что они произошли или не произошли. Если сформировано несколько АБС, представляющих различные гипотезы, и известно их априорное распределение, то, используя формулу Байеса, мы можем ранжировать гипотезы по апостериорной вероятности при имеющемся кортеже свидетельств.

На выбор алгоритма для апостериорного вывода влияет тот факт, что вероятностный ФЗ с интервальными оценками или АБС представляют не одно распределение вероятностей, а, как правило, целое семейство распределений, отвечающих одинаковым «граничным условиям» (ограничениям из предметной области). Поэтому на практике используют либо дополнительные предположения о свойствах распределения, что позволяет из их семейства выбрать одно, либо осуществляют апостериорный вывод, получая в результате не максимально точные интервальные оценки, а оценки, лишь включающие наиболее точные, как подмножество. Наиболее распространенной гипотезой для выбора распределения из семейства распределений является предположение условной независимости оценок истинности атомарных пропозициональных формул [22]. Например, в простейшем случае рассматриваются два фрагмента знаний, имеющих общие элементы. Атомарные пропозиции, оценки истинности которых входят в этот ФЗ, делятся на три совокупности: первая, относящаяся только к первому ФЗ, вторая, относящаяся только ко второму ФЗ, и третья, входящая в оба ФЗ. Если принять гипотезу, что первая совокупность условно независима от второй относительно третьей, то по точечным оценкам значений переменных обоих ФЗ можно однозначно восстановить точечные оценки для ФЗ, построенного над двумя исходными. Разработанные алгоритмы позволяют избегать такого этапа надстраивания, но получать апостериорные оценки истинности, согласующиеся с указанной гипотезой [22, 14, 16].

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Некоторые публикации петербургских исследователей по тематике вероятностных графических моделей

1. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: теоретические основы и непротиворечивость. СПб.: СПИИРАН, 1995. 76 с.
2. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: логико-вероятностный подход к моделированию баз знаний с неопределенностью. СПб.: СПИИРАН, 2000. 282 с.
3. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. СПб.: Наука, 2006. 607 с. (Издание монографии поддержано грантом РФФИ 06-01-14108-д.)
4. Тулупьев А.Л. Алгебраические байесовские сети: локальный логико-вероятностный вывод: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУ; ООО Издательство «Анатолия», 2007. 80 с. (Сер. Элементы мягких вычислений).
5. Тулупьев А. Л. Алгебраические байесовские сети: глобальный логико-вероятностный вывод. СПб.: СПбГУ; Анатолия. 2007. 40 с. (Сер. Элементы мягких вычислений.)
6. Тулупьев А. Л., Сироткин А. В., Николенко С. И. Байесовские сети доверия: логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2009. 400 с.
7. Alexandrov T., Chernyavsky I., Becker M., Eggeling F. von, Nikolenko S.I. Analysis and Interpretation of Imaging Mass Spectrometry Data by Clustering Mass-to-Charge Images According to Their Spatial Similarity. *Analytical Chemistry*, (ACS link), vol. 85 (23), pp. 11189–11195.
8. Koltsova O., Koltcov S. Mapping the Public Agenda with Topic Modeling: The Case of the Russian LiveJournal // *Policy & Internet*. 2013. Vol. 5. No. 2. P. 207-227.
9. Nikolenko S.I., Korobeynikov A.I., Alekseyev M.A. BayesHammer: Bayesian clustering for error correction in single-cell sequencing. *BMC Genomics*, vol. 14, Suppl. 1, S7, 2013.
10. Filchenkov A. A., Tulupyev A. L. Equality of the sets of minimal and irreducible join graphs built on the algebraic Bayesian network primary structure // *Vestnik St.Petersburg University*. Ser. 1. 2012. Issue 2. P. 69–78.
11. Bodrunova S., Koltsov S., Koltsova O., Nikolenko S. I., Shimorina A. Interval Semi-supervised LDA: Classifying Needles in a Haystack, in: *Proceedings of the 12th Mexican*

- International Conference on Artificial Intelligence (MICAI 2013) Part I: Advances in Artificial Intelligence and Its Applications. Berlin : Springer Verlag, 2013. P. 265-274.
12. Chernyavsky I.I., Alexandrov T., Maass P., Nikolenko S.I. A Two-Step Soft Segmentation Procedure for MALDI Imaging Mass Spectrometry Data. Proceedings of the 18th German Conference in Bioinformatics (GCB-2012), OASICs vol. 26, 2012, pp. 39–48.
 13. Chernykh G., Korenevsky M., Levin K., Ponomareva I., Tomashenko N.A. State Level Control for Acoustic Model Training. SPECOM 2014: 435-442
 14. Ignatov D., Konstantinov A., Nikolenko S.I., Poelmans J., Zaharchuk V. Online Recommender System for Radio Station Hosting. Proceedings of BIR 2012, Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 128, Springer, 2012, pp. 1–12.
 15. Koltcov S., Koltsova O., Nikolenko S.I. Latent Dirichlet Allocation: Stability and Applications to Studies of User-Generated content. Proceedings of the 2014 ACM conference on Web science (WebSci 2014), pp. 161–165.
 16. Leksin V.A., Nikolenko S.I. Semi-Supervised Tag Extraction in a Web Recommender System. Proc. 6th International Conference on Similarity Search and Applications (SISAP 2013), LNCS. 2013. vol. 8199, pp. 206–212.
 17. Nikolenko S.I., Sirotkin A.V. A New Bayesian Rating System for Team Competitions. Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning (ICML 2011), 2011, pp. 601–608.

Важные классические зарубежные монографии по тематике

1. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.
2. Blei D. M., Ng A. Y., Jordan M. I. Latent Dirichlet allocation // Journal of Machine Learning Research. 2003. Vol. 3, N. 4–5. P. 993–1022.
3. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. Elements of Statistical Learning. Springer, New York, 2008.
4. Recommender Systems Handbook / Ed. by F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, P. B. Kantor. Springer, 2011.
5. Pearl J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. NY etc.: Morgan Kaufmann, 1994.
6. Prince S. Computer Vision: Models, Learning, and Inference. Cambridge University Press, 2012.
7. Kevin Murphy. Machine Learning: A Probabilistic Perspective, MIT Press, 2012.

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Инновационный портал
Руководство администратора

Оглавление

| | |
|---|-----|
| 1. Назначение системы | 868 |
| 2. Установка системы | 868 |
| 2.1. Требования к программному обеспечению | 868 |
| 2.2. Процесс установки | 868 |
| 3. Учётные записи пользователей | 869 |
| 3. Пользовательский интерфейс | 870 |
| 3.1. Структурные элементы интерфейса | 870 |
| 3.2. Основные разделы портала | 871 |
| 4. Регистрация в системе | 872 |
| 5. Профиль пользователя | 873 |
| 5.1. Профиль | 873 |
| 5.2. Публикации | 874 |
| 5.3. Отзывы | 875 |
| 5.4. Сообщения | 876 |
| 5.5. Избранное | 876 |
| 6. Разделы портала | 876 |
| 6.1. Организации | 876 |
| 6.2. Общественная деятельность | 877 |
| 6.3. Мероприятия | 877 |
| 6.3. Объявления | 877 |
| 6.4. Публикационная активность | 878 |
| 7. Администрирование | 878 |
| 7.1. Назначение и отзыв административных прав | 878 |
| 7.2. Модерация материалов портала | 879 |
| 7.3. Просмотр сообщений от пользователей | 880 |
| 7.4. Управление разделами | 881 |
| 7.5. Статистика | 881 |

1. Назначение системы

Интерактивная информационно-аналитическая система «Инновационный Портал» (далее ИИАС) представляет собой:

- площадку для налаживания связей между специалистами в области перспективных направлений науки и техники, поиска партнёров и финансирования инновационных проектов;
- информационную систему, позволяющую специалистам отслеживать значимые события – проведение отраслевых выставок, конференций, появление новых технологий;
- ресурс, позволяющий специалистам публиковать инновационные идеи и обсуждать их в профессиональном кругу;
- систему поиска инновационных проектов, технологий, конкурсов, организаций;
- средство создания нормативно-правовой и технической базы данных с предоставлением всем зарегистрированным пользователям системы возможности пополнять эту базу.

2. Установка системы

2.1. Требования к программному обеспечению

На сервере, на котором выполняется установка ИИАС, должны быть установлены следующие компоненты:

Web-сервер Apache;

PHP 5+ с расширениями gd2, mbstring, mysql, mysqli.

Кроме того, должен присутствовать локальный или удалённый доступ к серверу базы данных (далее БД) MySQL 5. Для загрузки начального образа БД рекомендуется наличие phpMyAdmin.

2.2. Процесс установки

Установка включает в себя следующие шаги:

- копирование файлов ПО;
- инициализация БД.

Файлы ПО копируются из папки source в корневую папку сайта. На выделенном сервере под управлением Unix-подобной ОС это папка /var/www. При использовании хостинга название папки может быть иным.

Если установка ведётся на выделенном сервере, необходимо обеспечить, чтобы пользователь, от имени которого выполняется процесс веб-сервера, имел доступ ко всем файлам в /var/www. Это можно обеспечить следующей командой, выполняемой от имени суперпользователя:

```
chown -R www-data:www-data /var/www
```

Для инициализации БД следует зайти в phpMyAdmin и создать новую базу данных с кодировкой utf8_general_ci. После этого необходимо выбрать эту базу данных, перейти на вкладку «Импорт» и загрузить файл database.sql.

Для обеспечения доступа к базе данных в файле config/config.php следует внести корректировки. Для этого в следующих строках файла необходимо задать сведения о БД, заменив слова, написанные жирным шрифтом. Эти данные предоставляются хостингом либо устанавливаются на локальном сервере:

```
define ("DB_HOST", "имя_сервера_БД");  
define ("DB_NAME", "имя_БД");  
define ("DB_USER", "имя_пользователя_БД");  
define ("DB_PASSWORD", 'пароль_пользователя_БД');
```

На этом установка завершена. На локальном сервере веб-интерфейс доступен по адресу <http://localhost/>. При размещении на хостинге адрес зависит от связанного с сайтом домена.

Для административного входа в систему можно использовать логин admin и пароль admin. Во избежание взлома пароль рекомендуется изменить.

2.3. Учётные записи пользователей

Каждый зарегистрированный пользователь системы имеет логин и пароль, которые он сообщает системе в процессе регистрации. Эти данные используются в дальнейшем при входе в систему и удостоверяют его права на доступ к информации и публикацию материалов. Для обеспечения безопасности пароль хранится в базе данных в зашифрованном виде. Неавторизованные пользователи называются гостями и имеют ограниченный доступ.

Пользователи разделяются на следующие категории:

- гости – под этой учётной записью работают неавторизованные пользователи. Они имеют права на ознакомление с ограниченным объёмом информации – новостями, объявлениями, а также к другим материалам портала, к которым был явно разрешён доступ гостей; в случае, если гость

пытается получить доступ к недоступному для него разделу, система предлагает ему войти или зарегистрироваться;

- зарегистрированные пользователи – помимо этого, имеют полный доступ к своей личной информации (профиль, публикации, избранное, личные сообщения), могут знакомиться с профилями других пользователей, организаций, производить поиск, публиковать статьи, участвовать в обсуждениях, пополнять базу документации;
- модераторы – помимо этого, могут пополнять административные разделы, а также корректировать и удалять учётные записи пользователей и их материалы, если они не соответствуют правилам портала;
- администраторы – имеют те же права, что и модераторы, но помимо этого могут управлять дополнительными параметрами портала (редактировать справочные страницы, рекламные блоки и т. п.).

3. Пользовательский интерфейс

3.1. Структурные элементы интерфейса

При загрузке ИИАС доступны следующие элементы интерфейса (рис. 3.1):

- Заголовок страницы, включающий в себя название системы. Заголовок является ссылкой, при активации которой пользователь направляется на начальную страницу.
- Главное меню, содержащее разделы. При наведении курсора мыши на пункт главного меню на экране появляется список его подпунктов.
- Ссылка для входа и регистрации.
- Рабочая область, отображающая содержимое активного раздела системы.

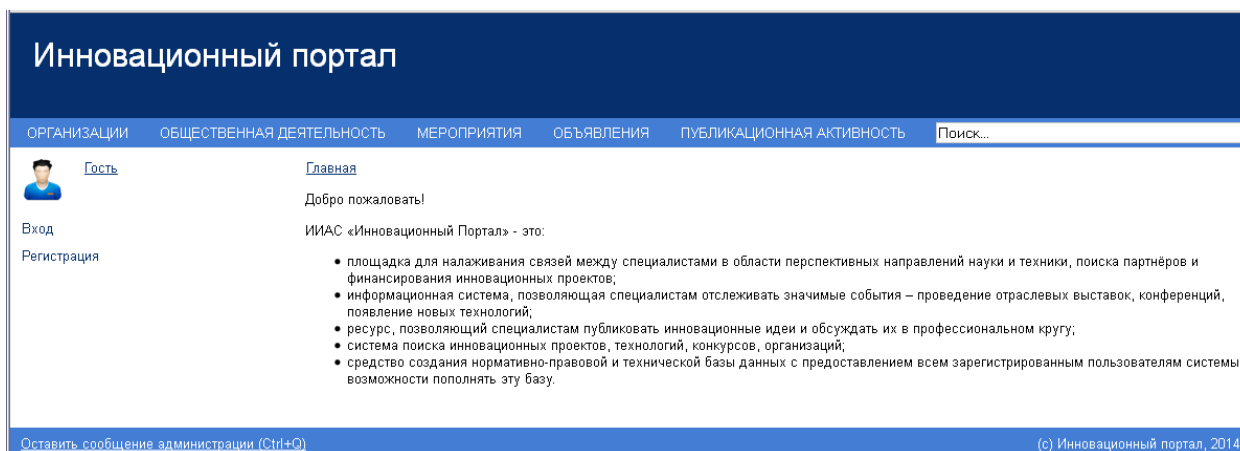


Рис. 3.1. Интерфейс до авторизации

После авторизации пользователь получает доступ к следующим элементам (рис. 3.2):

- поле ввода для поиска;
- личная карточка пользователя;
- меню пользователя.

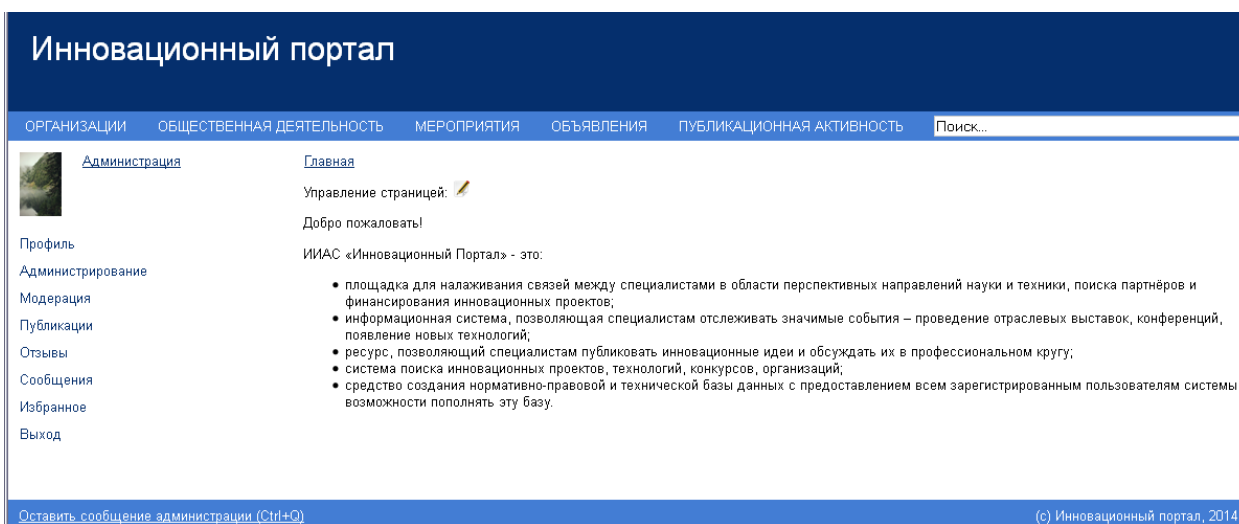


Рис. 3.2. Интерфейс авторизованного пользователя

3.2. Основные разделы портала

Разделы, доступные всем пользователям:

- главная страница – содержит общую информацию о портале;
- новости, опубликованные модераторами портала и сгруппированные по тегам и категориям (инновации, законодательство и т. д.);
- список материалов;
- справочные разделы, редактируемые администраторами (идея портала, правила, полезные ссылки).

3.2.2. Разделы, доступные зарегистрированным пользователям:

- профиль пользователя;
- публикации;
- отзывы;
- избранное;
- личные сообщения;
- календарь мероприятий;
- компании.

3.2.3. Разделы, доступные администраторам:

- модерация;
- администрирование.

4. Регистрация в системе

Для выполнения регистрации необходимо выбрать пункт «Регистрация» в списке действий в левой панели окна и заполнить форму (рис. 4.1).

The screenshot shows the registration page of the 'Innovation Portal'. The header is dark blue with the title 'Иновационный портал'. Below the header is a navigation bar with links: 'ОРГАНИЗАЦИИ', 'ОБЩЕСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ', 'МЕРОПРИЯТИЯ', 'ОБЪЯВЛЕНИЯ', 'ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ', and a search bar. On the left, there is a user profile section with a 'Гость' icon and links for 'Вход' and 'Регистрация'. The main content area is titled 'Главная > Регистрация' and contains a registration form with the following fields: 'Фамилия *', 'Имя *', 'Отчество', 'Пол *' (with a dropdown menu), 'E-mail *', 'Пароль *', 'Повторите пароль *', 'Телефон', and 'Фотография' (with a 'Добавить изображение' checkbox). Below the form is a CAPTCHA section with the text 'Введите код с картинки *' and a 'Зарегистрироваться' button. At the bottom, there is a checkbox for 'Отображать мои контактные данные в Адресной книге' with a sub-note: 'Дайте возможность заинтересованным специалистам и компаниям связываться с вами напрямую'. The footer contains the text 'Оставить сообщение администрации (Ctrl+Q)' and '(c) Иновационный портал, 2014'.

Рис. 4.1. Форма регистрации

После заполнения всех обязательных полей нажмите кнопку «Зарегистрироваться». В случае успеха на указанный электронный адрес будет выслано письмо со ссылкой подтверждения. После перехода по этой ссылке можно войти в систему, используя свой e-mail и пароль (рис. 4.2).

The screenshot shows the login page of the 'Innovation Portal'. The header and navigation bar are identical to the registration page. The left sidebar is the same. The main content area is titled 'Главная > Вход' and is split into two columns: 'Вход' and 'Регистрация'. Under 'Вход', there is a message: 'Если у Вас уже есть логин и пароль, выполните вход.' followed by input fields for 'E-mail:' and 'Пароль:', and a 'Вход' button. Below these fields is a link 'Забыли пароль?'. Under 'Регистрация', there is a message: 'Если у Вас нет учётной записи, [зарегистрируйтесь](#).' The footer is the same as in the registration page.

Рис. 4.2. Форма входа

5. Профиль пользователя

Разделы, доступные пользователю, содержатся в левой панели веб-интерфейса (рис. 5.1).

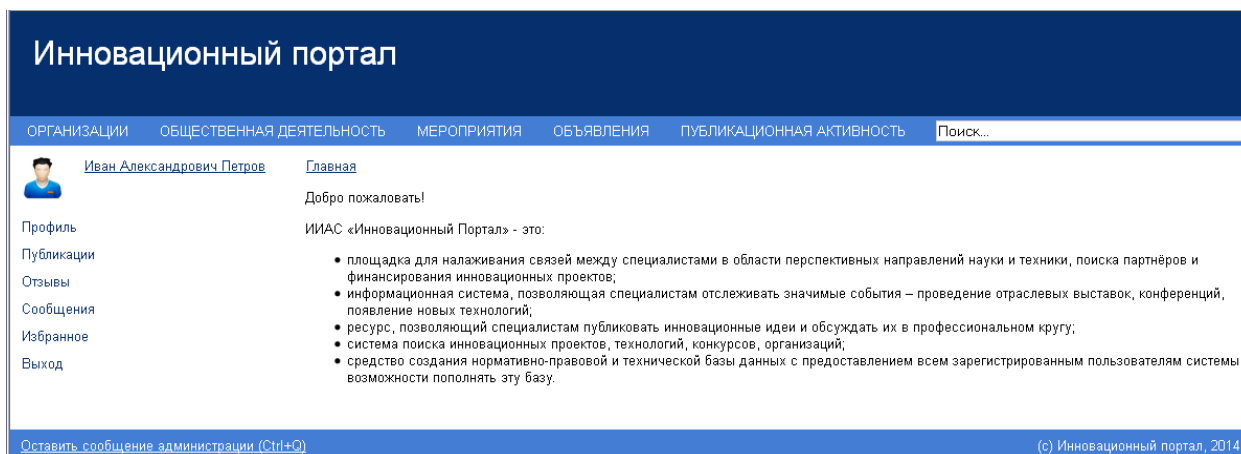


Рис. 5.1. Интерфейс пользователя

Пользователю предоставляются следующие разделы:

5.1. Профиль

Профиль содержит:

а) личную информацию о пользователе, регионе его местонахождения, фотографию, а также дополнительную информацию, которую пользователь может расположить на своей странице (рис. 5.2).

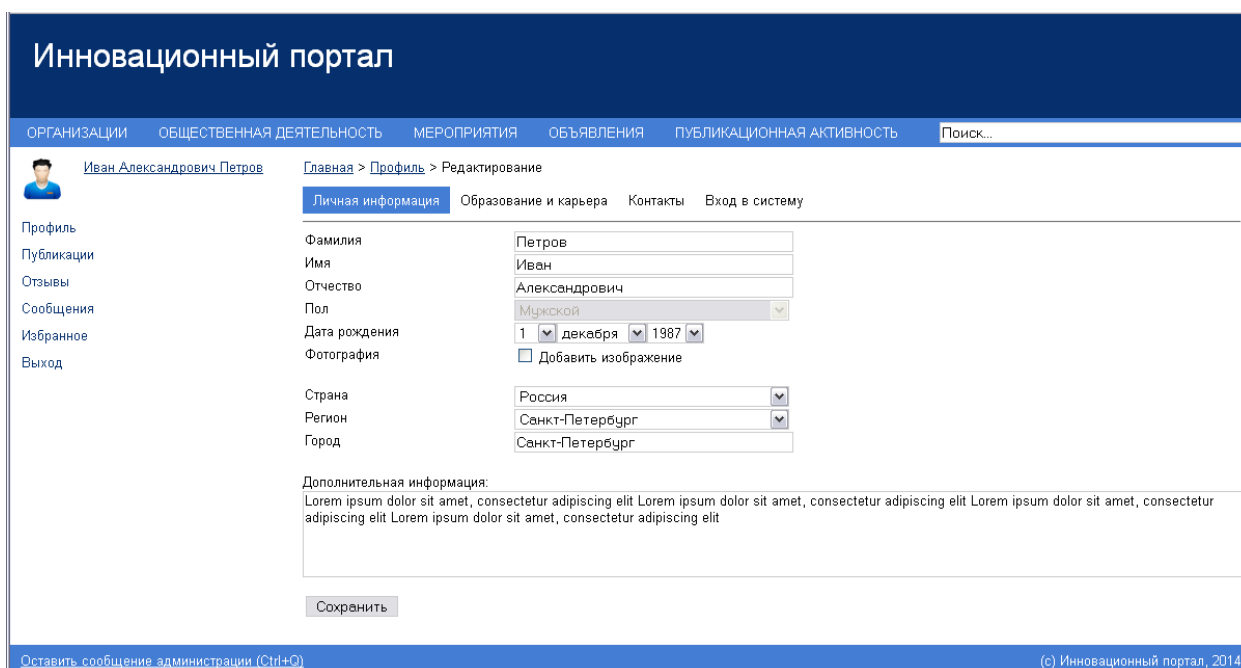


Рис. 5.2. Личная информация

- б) информацию о местах обучения и работы пользователя;
- в) информацию о контактах пользователя (телефоны, электронная почта, социальные сети, Skype и т. д.);
- г) логин и пароль.

5.2. Публикации

Каждому пользователю предоставляется возможность размещать на портале свои статьи. Данный раздел отображает список статей пользователя (рис. 5.3). Автор может

изменить или удалить статьи, используя кнопки  справа от названия статьи.

Статьи доступны всем зарегистрированным пользователям.

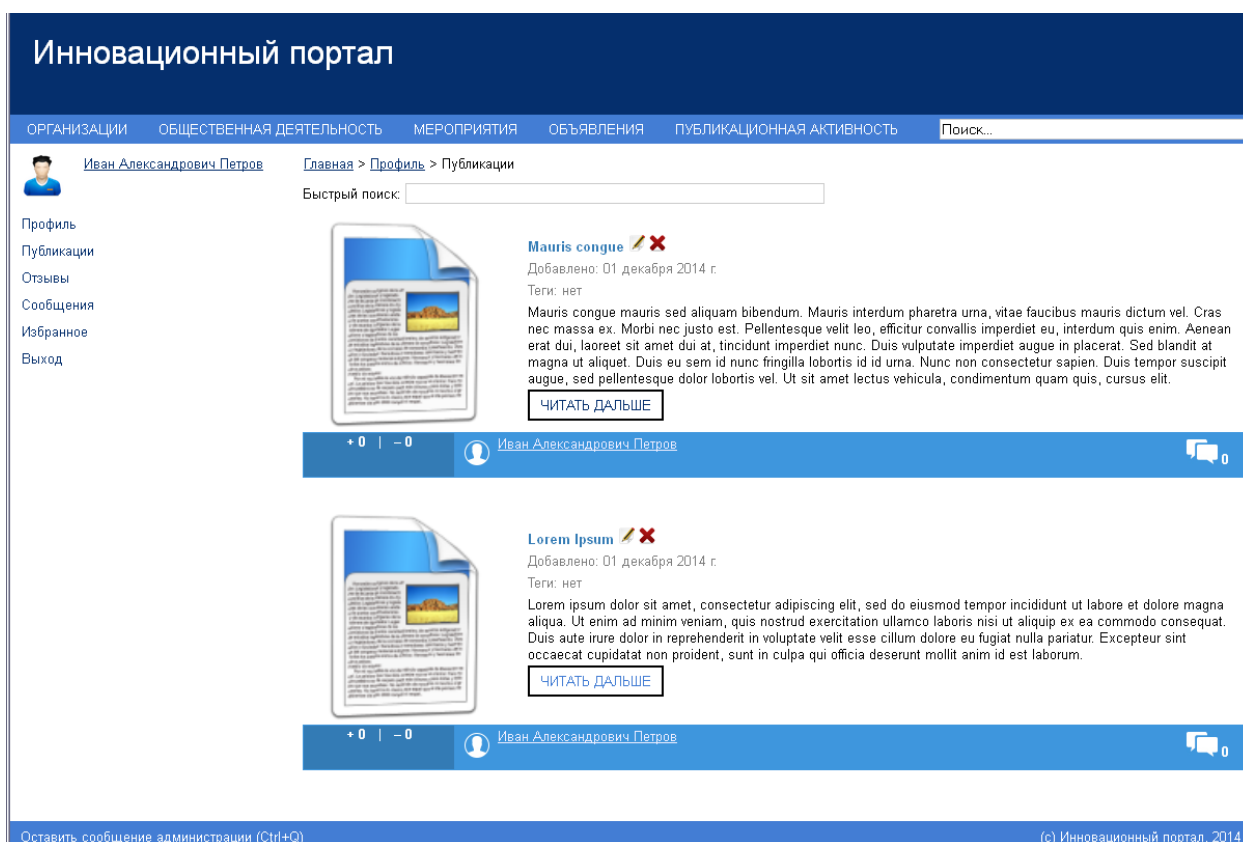


Рис. 5.3. Публикации

Редактирование статьи позволяет задать изображение, описание, разрешить или запретить комментарии к статье, задать категории и добавить теги, приложить файлы (рис. 5.4). Модераторы могут также задать дополнительные параметры (уровень доступа, разрешения).

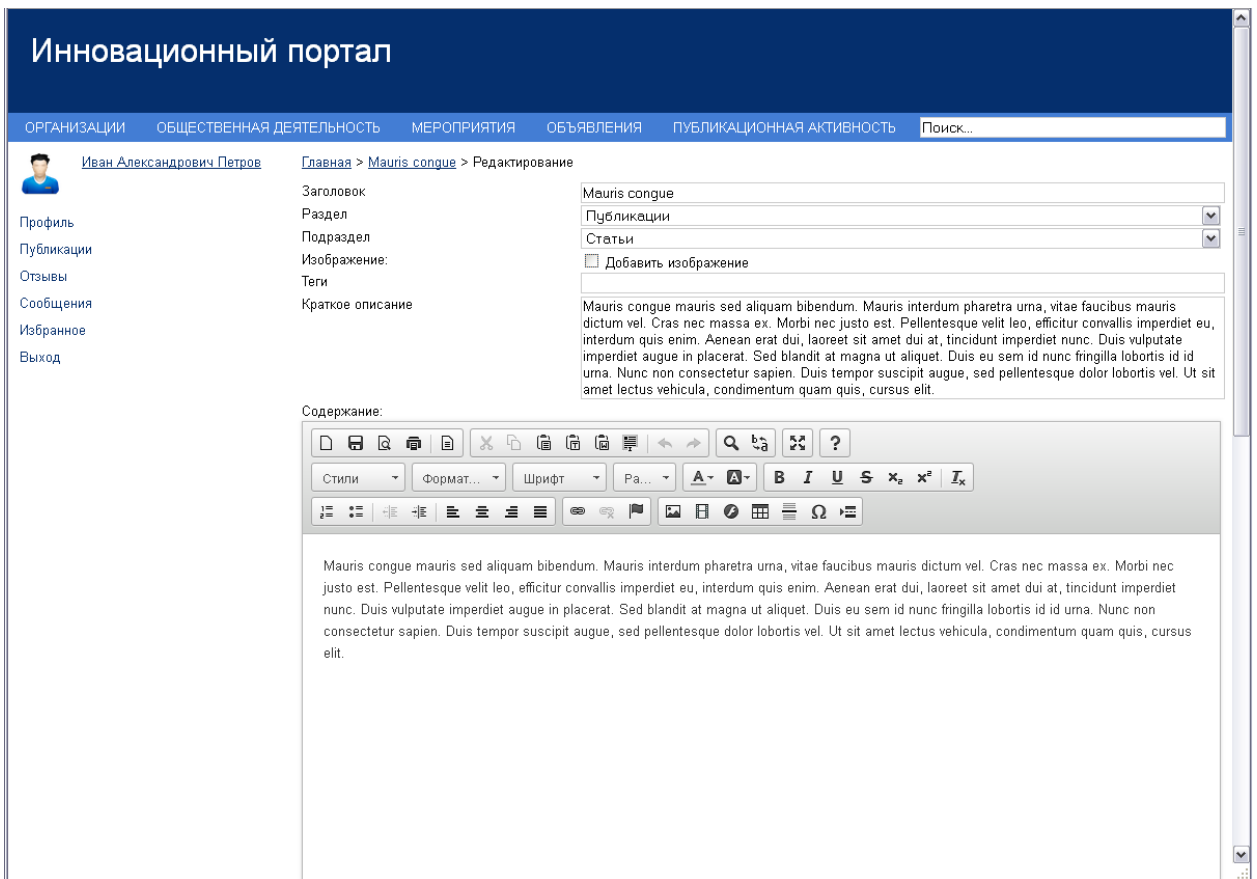


Рис. 5.4. Редактирование статьи

5.3. Отзывы

Раздел «Отзывы» (рис. 5.5) содержит ссылки для быстрого доступа к отзывам, сделанным активным пользователям и отзывам, сделанным другими пользователями на его статьи.

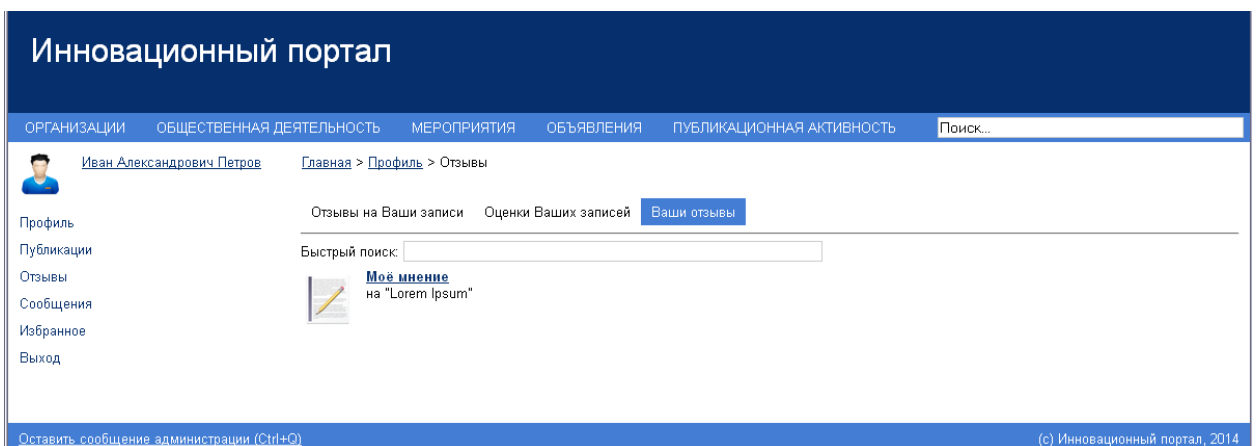


Рис. 5.5. Отзывы

5.4. Сообщения

Сервис (рис. 5.5) позволяет пользователям обмениваться сообщениями непосредственно на портале.

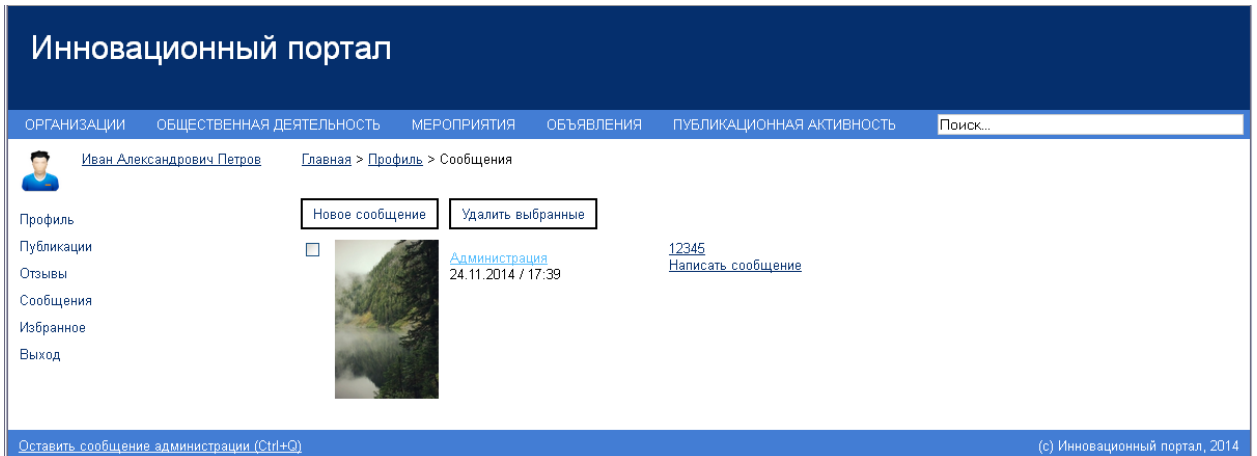


Рис. 5.5 Личные сообщения

5.5. Избранное

Раздел «Избранное» формируется пользователем и содержит ссылки для быстрого доступа к интересующим его материалам портала: документам, пользователям, организациям.

6. Разделы портала

6.1. Организации

Раздел (рис. 6.1) позволяет найти зарегистрированные на портале компании, добавить их в избранное, просмотреть информацию и вакансии. В этом разделе также можно зарегистрировать компанию пользователя, если на портале её ещё нет.

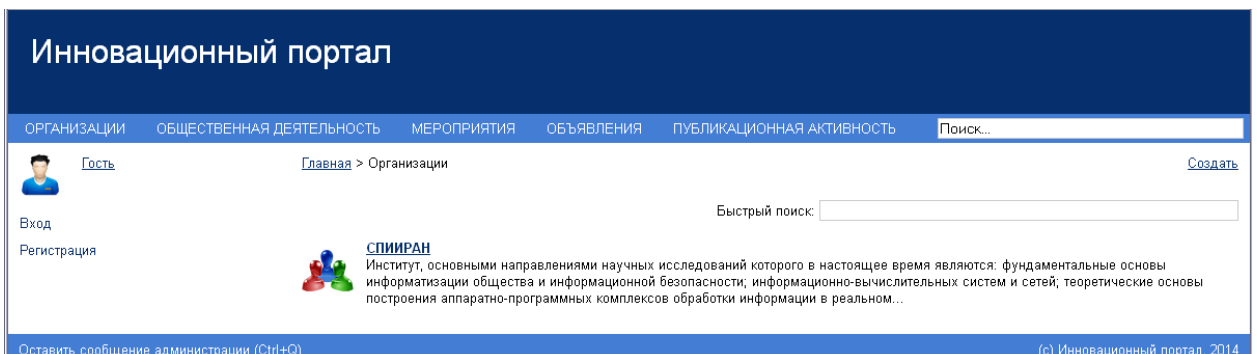


Рис. 6.1. Организации

6.2. Общественная деятельность

Раздел содержит сведения об общественной деятельности, новости, программы обучения, предложения пользователей системы.

6.3. Мероприятия

Раздел «Мероприятия» (рис. 6.2) позволяет пользователю заявлять, просматривать, принимать участие в различных мероприятиях – конференциях, выставках, семинарах. События отображаются в календаре пользователя. Кроме того, они сгруппированы в списки: ближайшие события, события пользователя, события на выбранную дату.

The screenshot shows the 'Innovation Portal' interface. At the top, there is a navigation bar with tabs for 'ОРГАНИЗАЦИИ', 'ОБЩЕСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ', 'МЕРОПРИЯТИЯ', 'ОБЪЯВЛЕНИЯ', and 'ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ'. Below this is a search bar and a user profile menu on the left. The main content area displays a calendar for November 2014. The calendar grid has columns for days of the week and rows for dates. Several dates have event entries: 14th (Mauris ac augue), 26th (Mauris ac augue), 27th (Mauris ac augue), 28th (Mauris ac augue), 29th (Mauris ac augue), and 30th (Mauris ac augue). A detailed view of the event on the 14th is shown, containing a block of placeholder text. At the bottom, there are tabs for 'Ближайшие события', 'Ваши события', and 'Выбранное', with the 'Выбранное' tab selected. Below the tabs, it says 'Доступных записей нет.'

Рис. 6.2. Мероприятия

6.4. Объявления

Раздел содержит публикуемые пользователями и администрацией объявления на различную тематику: проекты, тендеры, рационализаторские предложения, технические решения, поиск специалистов.

6.5. Публикационная активность

Раздел содержит статьи, документацию, литературу и иные материалы, выложенные всеми пользователями портала. Материалы сгруппированы по категориям. Пользователь может просматривать категории и материалы, а создавать свои категории и статьи, редактировать те статьи, автором которых он является (рис. 4.5.1).

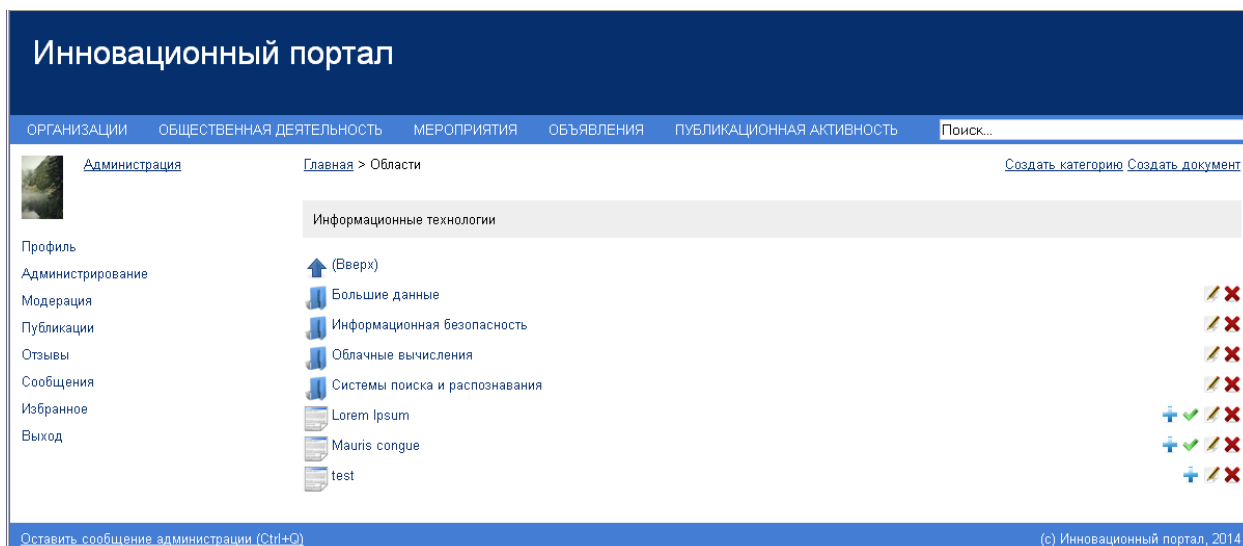


Рис. 6.3. Материалы

Также пользователь может оставить отзыв на любую статью, если это не запрещено её автором.

7. Администрирование

Административные функции доступны пользователям с соответствующими правами. Изначально существует одна административная учётная запись с логином admin.

7.1. Назначение и отзыв административных прав

Каждый администратор может определить уровень доступа других пользователей. Для этого необходимо нажать кнопку «Редактировать» рядом со ссылкой на профиль пользователя (рис. 7.1).

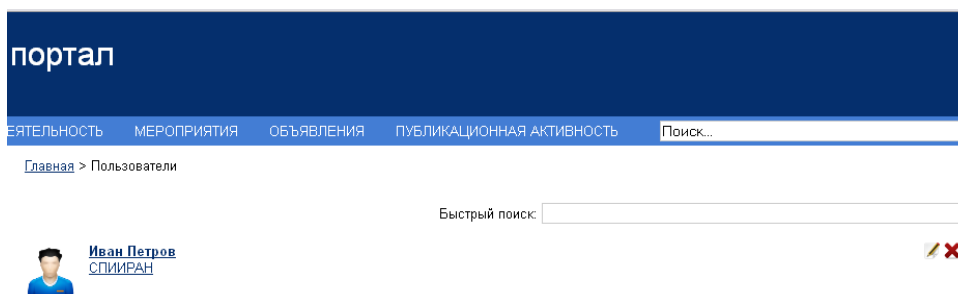


Рис. 7.1. Кнопки управления рядом со ссылкой на профиль пользователя

После этого уровень доступа пользователя можно задать в выпадающем списке «Категория» (рис. 7.2).

[Главная](#) > [Иван Петров](#) > Редактирование

Общая информация



Фамилия: Петров
Имя: Иван
Отчество:
Пол: Мужской
Дата рождения:
Фотография: Добавить изображение
Рейтинг (влияет на очерёдность отображения в списке участников): 0
Страна: Россия
Регион: Санкт-Петербург
Населённый пункт:
Дополнительная информация:

Администрирование

Категория: Зарегистрированные
Входит в Экспертный совет: Нет
Число посещений: 0


Рис. 7.2. Выбор категории пользователя




7.2. Модерация материалов портала

Модерация материалов портала выполняется с помощью кнопок   (редактировать, удалить), располагающихся рядом со ссылками на анкеты пользователей, статьи, вакансии и т. д. (рис. 7.3).

[Главная](#) > Публикации [Создать](#)



Быстрый поиск:







Mauris congue   

Добавлено: 01 декабря 2014 г.
Теги: нет

Mauris congue mauris sed aliquam bibendum. Mauris interdum pharetra urna, vitae faucibus mauris dictum vel. Cras nec massa ex. Morbi nec justo est. Pellentesque velit leo, efficitur convallis imperdiet eu, interdum quis enim. Aenean erat dui, laoreet sit amet dui at, tincidunt imperdiet nunc. Duis vulputate imperdiet augue in placerat. Sed blandit at magna ut aliquet. Duis eu sem id nunc fringilla lobortis id id urna. Nunc non consectetur sapien. Duis tempor suscipit augue, sed pellentesque dolor lobortis vel. Ut sit amet lectus vehicula, condimentum quam quis, cursus elit.

+ 0 | - 0  [Иван Александрович Петров](#)  0



Lorem Ipsum   

Добавлено: 01 декабря 2014 г.
Теги: нет

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.




+ 0 | - 0  [Иван Александрович Петров](#)  1

Рис. 7.3. Кнопки редактирования и удаления

Кроме того, все статьи, публикуемые пользователями без административных привилегий, должны быть утверждены модератором перед тем, как они будут опубликованы. До утверждения статьи доступны только автору и модераторам.

Утверждение публикации выполняется с помощью кнопки «». Кроме того, все неутверждённые статьи собраны в разделе «Модерация» (рис. 7.4).

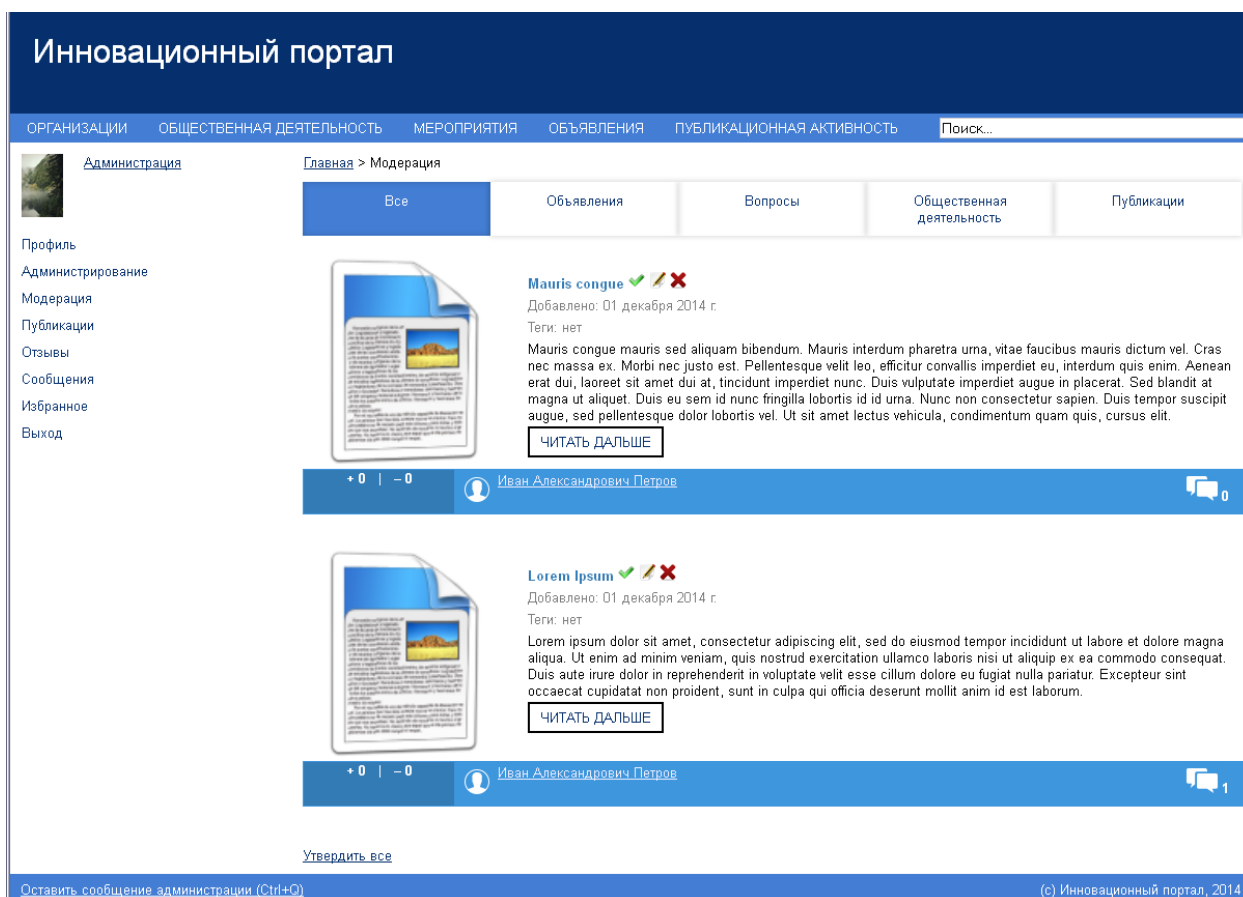


Рис. 7.4. Раздел «Модерация»

7.3. Просмотр сообщений от пользователей

Сообщения пользователей для администрации доступны в разделе «Администрирование» на вкладке «Сообщения» (рис. 7.5).

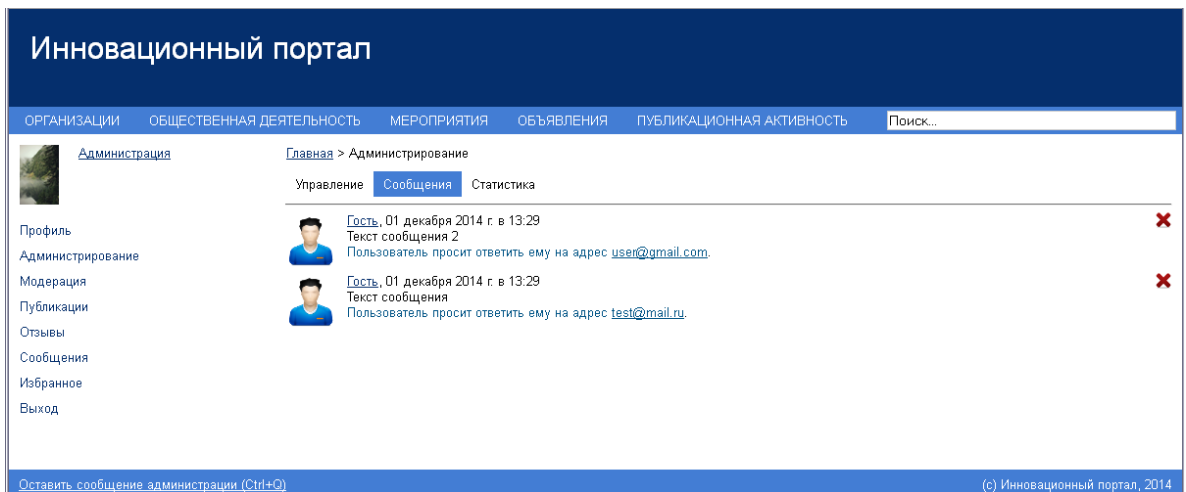


Рис 7.5. Сообщения от пользователей

7.4. Управление разделами

Возможности по управлению разделами портала и категориями материалов доступна в разделе «Управление» (рис. 7.6).

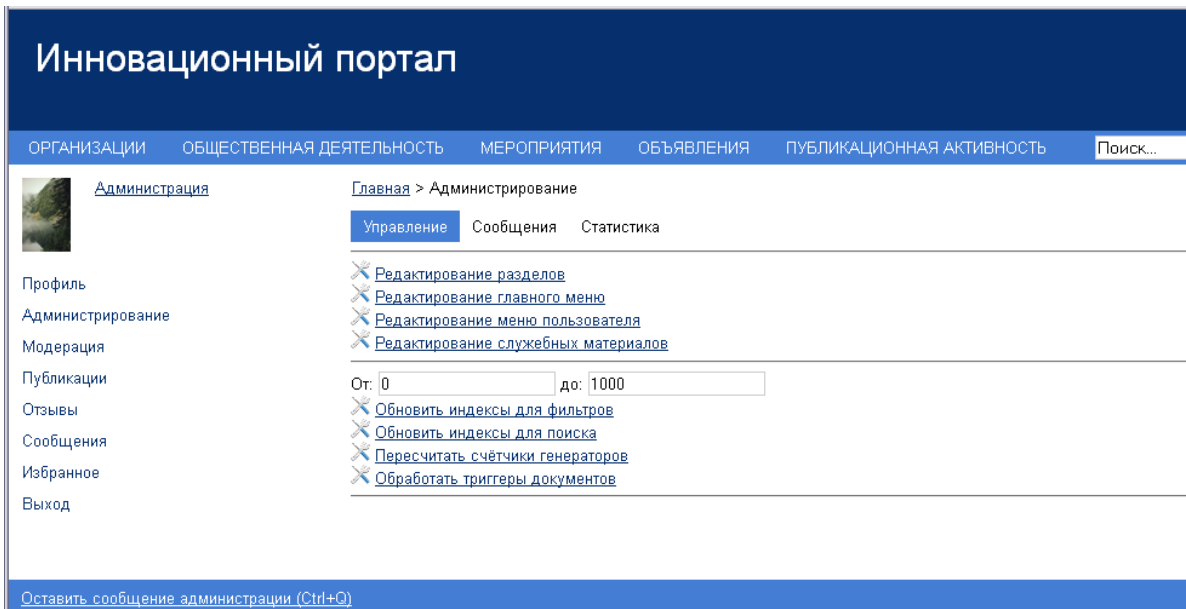


Рис. 7.6. Управление порталом

7.5. Статистика

Информация о количестве пользователей, документов, числе посещений доступна в разделе «Управление» на вкладке «Статистика» (рис. 7.7).

[Главная](#) > Администрирование

| Управление | Сообщения | Статистика |
|---------------------|-----------|------------|
| Число пользователей | 3 | |
| Число документов | 6 | |
| Число посещений | 1670 | |

Рис. 7.7. Статистика портала