



**Научное обеспечение
реализации приоритетов
научно-технологического развития
Российской Федерации**

В двух томах

**Научные сессии Общего собрания членов РАН
и Общих собраний отделений РАН
Ноябрь 2018 г.**

Под редакцией
академика РАН В.Г. Бондура,
члена-корреспондента РАН А.А. Маковского

МОСКВА, 2019 г.



Российская Академия Наук

**Научное обеспечение
реализации приоритетов
научно-технологического развития
Российской Федерации**

**Том 2
Научные сессии Общих собраний отделений РАН**

Под редакцией
академика РАН В.Г. Бондура,
члена-корреспондента РАН А.А. Макоско

МОСКВА 2019

УДК 087.7
ББК 71
Н34

Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации Доклады на Общих собраниях тематических и региональных отделений РАН: в 2-х томах. – М.: Российская академия наук, 2019/ Под редакцией академика РАН **В.Г. Бондура** и члена-корреспондента РАН **А.А. Макоско**.

Т. 2: Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. Доклады на Общих собраниях тематических и региональных отделений РАН. – М.: Российская академия наук, 2019/ Под ред. академика РАН **В.Г. Бондура** и члена-корреспондента РАН **А.А. Макоско**. – 632 с.

Том 2 содержит материалы докладов на Общих собраниях тематических и региональных отделений РАН, состоявшихся в ноябре 2018 г., которые были посвящены вопросам научного обеспечения реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. Материалы подготовлены ведущими учеными Российской академии наук, охватывают широкий спектр научных исследований и отражают научные достижения многих научных коллективов, посвященные данной проблематике.

Продемонстрирована актуальность исследований, направленных на реализацию приоритетов, которые определены Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, и основными положениями Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Показано, что по ряду направлений исследований, соответствующих этим приоритетам, получены и намечены пути получения новых научных результатов, в том числе в таких областях, как: ресурсосберегающая энергетика; добыча и переработка углеводородного сырья; цифровые технологии; новые материалы; методы обработки больших объемов данных; применение методов гуманитарных и социальных наук для эффективного ответа российского общества на большие вызовы; противодействие различным угрозам и терроризму; обеспечение связности территории страны; освоение и использование космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики. Эти результаты могут быть развиты и положены в основу формирования комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла.

Книга предназначена для органов государственной власти, широкого круга специалистов из госкорпораций, организаций реального сектора экономики, научных работников, профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов старших курсов образовательных учреждений.

СОДЕРЖАНИЕ

ОТДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК	9
<i>А.И. Аветисян.</i> Системное программирование как ключевое направление противодействия киберугрозам	10
<i>К.В. Рудаков.</i> Математические основы технологий обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта	15
<i>Б.Н. Четверушкин.</i> Суперкомпьютерные технологии – проблемы и перспективы ближайшего будущего	23
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК	32
<i>Ю.Ю. Балега, Б.М. Шустов.</i> Состояние и перспективы российской астрономии.....	33
<i>И.Г. Митрофанов, А.В. Малахов, Д.В. Головин, М.Л. Литвак, А.Б. Санин, М.И. Мокроусов.</i> Нейтронное картографирование Марса с высоким пространственным разрешением: первые результаты эксперимента ФРЕНД проекта «Экзомарс»	39
<i>И.Д. Новиков.</i> Звезды, создающие гравитационное отталкивание	49
<i>А.С. Мельников, С.В. Миронов, А.В. Самохвалов, А.Ю. Аладышкин, А.И. Буздин.</i> Электродинамика гибридных структур сверхпроводящей спинтроники	51
ОТДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ	62
<i>Е.А. Микрин.</i> Международная космическая станция – научная лаборатория XXI века	63
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ	72
<i>А.И. Николаев.</i> Развитие фундаментальных и прикладных исследований по переработке апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений	73
<i>С.П. Громов, М.В. Алфимов, А.К. Чибисов.</i> Разработка фотоактивных супрамолекулярных устройств и машин	81
<i>Н.Э. Нифантьев.</i> Работы в области лесохимии в институтах Отделения химии и наук о материалах РАН	90
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК	95
<i>А.М. Кудрявцев.</i> Современные генетические технологии и их использование при создании высокопродуктивных сортов растений и пород животных	96
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК	101
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ	103
<i>А.В. Волков, Н.С. Бортников.</i> Месторождения стратегических металлов Арктического региона	104
<i>А.К. Тулохонов.</i> Настоящее и будущее Арктики в Стратегии пространственного развития Российской Федерации: проблемы, риски и решения	115
<i>И.Е. Фролов.</i> Приоритетные направления научных исследований Арктики и пути их реализации	129
<i>М.А. Федонкин, С.Г. Сколотнев, Е.И. Петров, А.В. Корнийчук.</i> Глубоководные геологические исследования поднятия Менделеева, Северный Ледовитый океан (2014-2016 гг.)	135
<i>М.В. Флинт.</i> Ресурсный потенциал Мирового океана: роль фундаментальных экосистемных исследований и межотраслевая кооперация	144

ОТДЕЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТНОШЕНИЙ	154
<i>О.В. Буторина.</i> Пределы глобализации. Вызовы для экономической науки	155
<i>А.М. Васильев.</i> Россия на Ближнем и Среднем Востоке: пределы прагматизма	165
ОТДЕЛЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ НАУК	172
<i>А.Д. Каприн.</i> Национальный проект: «Борьба с онкологическими заболеваниями» ..	173
<i>Д.Ю. Пушкарь, А.В. Говоров, К.Б. Колонтарев.</i> Робот-ассистированная хирургия ..	185
<i>С.А. Бойцов.</i> Что эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и практическая кардиология ждут от фундаментальной науки	190
ОТДЕЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК	202
<i>В.П. Якушев, В.В. Якушев.</i> Состояние и перспективы научного обеспечения в реализации приоритета «умное сельское хозяйство» России	203
<i>С.Н. Волков, В.Н. Хлыстун.</i> Современное состояние земельных отношений в АПК Российской Федерации и научное обоснование их регулирования методами землеустройства	216
<i>А.Г. Графимов.</i> Место сельскохозяйственных организаций в реализации стратегии научно-технологического развития Российской Федерации	223
<i>Г.А. Белозеров.</i> Сохранность пищевых продуктов - научно-технологический приоритет развития АПК.....	233
<i>В.М. Лукомец, С.В. Зеленцов.</i> Развитие методов селекции сои и льна на современном этапе	237
<i>Е.И. Шишанова.</i> Выращивание объектов аквакультуры с заданными показателями качества продукции.....	245
<i>Н.И. Кашеваров, И.М.Горобей.</i> Некоторые научные результаты в НИИ аграрного профиля, находящиеся под научно-методическим руководством Сибирского отделения РАН и планы научных исследований на 2020-2030 годы	256
<i>В.И. Трухачев.</i> Подготовка кадров в условиях цифровой трансформации экономики	263
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ	270
<i>А.С. Ващук.</i> Исторический опыт планирования и прогнозирования развития российского Дальнего Востока	271
<i>В.Л. Ларин, С.К. Песцов, А.Б. Волынчук, Е.А. Горячева.</i> Стратегия и политика государств Тихоокеанской Азии в освоении морских ресурсов Северной Пацифики: вызовы и возможности для России	277
<i>Н.В. Ломакина.</i> Минеральный сектор в стратегии развития Дальнего Востока	287
<i>Н.А. Горячев, Н.В. Гальцева, О.А. Шарыпова, Ю.В. Прусс, И.С. Голубенко.</i> Перспективы социально-экономического развития севера Дальневосточного региона – роль академической науки в диверсификации минерально-ресурсной экономики	295
<i>Ю.Н. Кульчин, Е.П. Субботин, А.И. Никитин.</i> Использование лазерных технологий в интересах судостроения и судоремонта, авиастроения и авиаремонта	306
<i>А.И. Алексанин, М.Г. Алексанина, В.А. Левин.</i> Технологии спутникового информационного обеспечения хозяйственной деятельности в Арктической зоне РФ	313
<i>А.Ф. Щербатюк.</i> О решении некоторых задач экологического и биологического мониторинга с использованием морских робототехнических комплексов ИПМТ ДВО РАН: краткий обзор	324

<i>В.А. Авраменко, И.Г. Тананаев, В.И. Сергиенко. Радиоэкология и мониторинг радионуклидов морей Дальнего Востока.....</i>	331
<i>А.Ю. Озеров. Моделирование процессов вулканических извержений</i>	340
<i>А.Г. Клыков. Стратегия развития научных исследований в растениеводстве Дальнего Востока.....</i>	352
<i>В.А. Стоник. О создании фармацевтического кластера в Приморском крае Российской Федерации</i>	360
<i>Б.И. Гельцер, К.И. Шахгельдян, В.В. Грибова. Опыт применения и перспективы развития технологий анализа больших данных и методов машинного обучения в клинической медицине и здравоохранении Дальневосточного Федерального округа</i>	371
<i>Б.Г. Андрюков, Н.Н. Беседнова, Т.С. Запорожец. Биологическая безопасность как основа устойчивого развития Дальнего Востока Российской Федерации</i>	378
<i>Т.А. Гвозденко, Б.И. Челнокова, Л.В. Веремчук. Состояние и перспективы развития рекреационного потенциала Дальнего Востока</i>	390
<i>О.А. Лебедько, В.К. Козлов. Разработка комплексной программы охраны материнства и детства коренного и пришлого населения Дальневосточного региона как ведущей составляющей формирования и повышения качества человеческого капитала</i>	399
<i>П.Я. Бакланов. Территории опережающего развития – как новый инструмент регионального развития Тихоокеанской России.....</i>	409
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ	418
<i>В.Н. Пармон. Вступительное слово.....</i>	419
<i>С.С. Гончаров. О международном математическом центре.....</i>	420
<i>Д.М. Маркович. Предложения от институтов ОУС СО РАН по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления в перспективные планы комплексного развития СО РАН и новосибирского Академгородка в рамках Стратегии НТР Российской Федерации</i>	424
<i>В.И. Бухтияров, В.Я. Ракиун. Направления программы синхротронных исследований Сибирского отделения Российской академии наук</i>	428
<i>М.И. Эпов. Обзор и анализ проектов комплексного развития Сибирского отделения РАН в области наук о Земле</i>	435
<i>А.Э. Конторович. Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века</i>	439
<i>А.В. Латышев. Центр нанотехнологий как элемент технологического прорыва</i>	451
<i>И.В. Бычков. Создание единой комплексной системы цифрового мониторинга экосистемы озера Байкал.....</i>	459
<i>В.В. Альт. Проекты комплексного развития СО РАН в области сельскохозяйственных наук</i>	469
<i>М.П. Лебедев. Научно-технологические основы создания международного центра по испытанию материалов, элементов техники и адаптации живых систем на Полюсе холода.....</i>	471
<i>А.М. Караськов. Развитие современных биомедицинских технологий в СО РАН до 2024 года</i>	476
<i>О.И. Лаврик. Репарация ДНК на страже стабильности генома и здоровья человека</i>	480
<i>Ю.М. Шатунов. Аномальный магнитный момент мюона – тест Стандартной модели</i>	491

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ	501
<i>Н.Ю. Лукоянов.</i> О перспективах создания Уральского междисциплинарного центра высокопроизводительных вычислений.....	502
<i>С.А. Чайковский.</i> Электрофизические установки для фундаментальных исследований и реального сектора экономики.....	508
<i>А.А. Ремпель, А.Н. Дмитриев, Б.Р. Гельчинский.</i> Разработка технологии комплексной переработки сырья Урала и создание функциональных высокоэнтропийных материалов	519
<i>В.И. Ладьянов.</i> Междисциплинарный научный центр металлургической физики и материаловедения УдмФИЦ УрО РАН: от фундаментально-ориентированных исследований до инновационных перспективных технологий.....	529
<i>М.Ю. Альес.</i> Программа развития Удмуртского Федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН: цифровая и сетевая трансформация исследований	534
<i>А.В. Трапезников.</i> Миграция, накопление и распределение радионуклидов в северных реках России, подверженных воздействию предприятий ядерного топливного цикла и глобальных выпадений.....	543
<i>В.Н. Пучков.</i> Основные задачи исследований в области геологии, металлогении и глубинного строения Уральского региона.....	553
<i>С.В. Корнилков.</i> О стратегии производства и потребления сырьевых ресурсов в условиях осложнения геологического строения, ухудшения качества и доступности минерально-сырьевой базы Урала.....	566
<i>А.А. Чибилёв.</i> Оптимизация пространственного развития степных регионов европейской России и Урала на основе конвергентных и природоподобных технологий в условиях современных природно-климатических изменений.....	581
<i>А.А. Барях, В.П. Матвеевко.</i> Первые итоги и перспективы развития Пермского Федерального исследовательского центра УрО РАН	581
<i>И.Н. Болотов, Г.Н. Антоновская, Ю.В. Беспалая, К.Г. Боголицын, Л.К. Добродеева, В.В. Гинтов, Н.С. Горбова, О.Д. Кононов, А.И. Малов, А.П. Новоселов, Т.М. Романенко.</i> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова – Форпост Уральского отделения РАН в Арктическом регионе Российской Федерации	586
<i>Д.В. Веселкин.</i> Центр по изучению и управлению биоразнообразием, биоресурсами и экосистемными услугами Уральского региона	598
<i>Е.В. Попов.</i> Эконотроника цифрового общества.....	604
<i>И.В. Побережников.</i> Современные вызовы развитию России и социально-гуманитарная экспертиза.....	614
<i>В.А. Черешнев.</i> Приоритеты медицинских исследований на Урале	622
<i>И.А. Шкуратова.</i> Стратегия обеспечения продовольственной и биологической безопасности Уральского региона, снижение технологических рисков в АПК.....	625



**ОТДЕЛЕНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ
НАУК**



А.И. Аветисян¹

Системное программирование как ключевое направление противодействия киберугрозам

1. Введение

Стремительный прогресс в области информационных технологий обеспечивает их ускоренное внедрение во все сферы жизнедеятельности человека («цифровая экономика»), но, с другой стороны, приводит к росту различных уязвимостей, угроз и рисков. Это связано, с принципиальным наличием дефектов в программном обеспечении (ПО) и аппаратуре, которые позволяют злоумышленнику нарушить работу системы, повысить уровень доступа или захватить управление. Доступность практически всех систем через сеть, эскалация размеров – сотни миллионов строк кода, сложность среды разработки и сборки мешают в решении задачи обеспечения кибербезопасности. Организационные методы, технологии контроля доступа, криптографические методы для обеспечения целостности и приватности данных необходимы, но не достаточны.

Ключевое направление противодействия киберугрозам – разработка новых моделей, методов и соответствующих технологий системного программирования, позволяющих обнаружить и устранить максимальное количество дефектов в исполняемом коде на этапах разработки и предотвратить или смягчить последствия эксплуатации оставшихся. Наличие и зрелость такого комплекса технологий фактически определяет уровень кибербезопасности эксплуатирующихся программно-аппаратных систем, создаваемых абсолютно во всех приоритетных направлениях научно-технологического развития.

Ниже представлены перспективные направления исследований в данной области, в том числе результаты Института системного программирования им. В.П. Иванникова (ИСП) РАН: методы и алгоритмы статического, динамического и комбинированного анализа ПО, а также оригинальные методы запутывания кода, обеспечивающие защиту от эксплуатации уязвимости, существующей в ПО. Соответствующие технологии внедрены и используются для решения практических задач в ряде отечественных и зарубежных организаций.

Никакая отдельно взятая компания или даже государство не в состоянии поддерживать необходимые темпы развития и соответствующий уровень безопасности без существенных рисков. Необходима комплексная программа исследований и разработок, нацеленная на получение фундаментальных знаний, создание соответствующих технологий и кадрового потенциала мирового уровня, консолидирующая усилия институтов РАН, университетов, компаний и государства для создания и развития в России всего необходимого комплекса современных методов и инструментов. Ключевая экспертная роль центра компетенций в такой программе может и должна принадлежать РАН.

Прогресс в области информационных технологий привел к появлению термина «цифровая экономика». Сейчас в связи с ускоренным внедрением IT во все сферы жизнедеятельности человека этот термин из теоретического понятия все больше превращается в удобную и привычную реальность. Вместе с тем, появление и развитие облачных технологий, интернета вещей, платформ обработки больших данных и др., а также рост вычислительной сложности и киберфизических возможностей несут в себе определенные угрозы и риски, которые заключаются в увеличении числа

¹ Директор Института системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, член-корреспондент РАН

различных уязвимостей. Это связано с принципиальным наличием функциональных, архитектурных и программных дефектов в ПО и аппаратуре, причем на всех уровнях – от схем аппаратуры, микрокода и БИОСа до системного и прикладного ПО. Дефекты могут быть как случайными ошибками, так и намеренными закладками, которые позволяют злоумышленникам нарушать работу систем, захватывать управление или красть конфиденциальные данные.

Значительную роль в этом процессе играет такой мировой тренд, как общее усложнение системного ПО. В нем стало гораздо больше компонентов, причем каждый из них также стал намного сложнее. Как следствие, усложнилась и общая система взаимосвязей. Современная операционная система — это сотни миллионов строк кода (размер Debian Linux – более миллиарда строк, Astra Linux – 150 миллионов). Эскалация размеров приводит к тому, что ошибок становится больше, а искать их – гораздо сложнее.

Большие программы влекут за собой и сложный процесс разработки: скажем, цепочка компиляторных инструментов в системе сборки для получения эффективного кода выполняет агрессивные оптимизации и, как следствие, в не полностью корректном коде может внести уязвимость в бинарный код, даже если в исходном она отсутствует. Ситуация разительно контрастирует с процессами разработки 20-летней давности, когда компиляторы были относительно несложными, буквальными «переводчиками» конструкций исходного кода в бинарный.

Наконец, в настоящее время нет локально изолированных систем – все доступно через сеть, что тоже повышает риски несанкционированного доступа через уязвимости ПО. Даже в полностью обособленных, закрытых системах, работающих внутри одного контура защиты, уязвимости могут быть использованы для эскалации прав в системе.

Все эти долгосрочные тренды развития ИТ ведут к обострению так называемого «кризиса программного обеспечения», который по сути является перманентным состоянием отрасли. Эта формулировка появилась еще в 60-е годы прошлого века для описания проблемы создания продуктивного, безопасного и эффективно работающего ПО. Как видим, в наше время эта проблема стала еще более сложной для решения.

Что касается дефектов в ПО, то они тоже претерпели серьезные изменения. Мало того, что сейчас размыты границы между ошибками программиста, недекларированными возможностями и намеренными закладками, наблюдается также рост ресурсовой сложности атак. От одиночных хакерских взломов ради денег или просто «для интереса» мир перешел к организованной киберпреступности, промышленному шпионажу и кибервойнам с участием спецслужб. Уязвимости в сфере кибербезопасности могут иметь серьезные последствия в физическом мире, в первую очередь, это финансовые потери. Стоит вспомнить, к примеру, историю с ошибкой HeartBleed в библиотеке OpenSSL, когда благодаря неконтролируемому чтению данных за границей буфера злоумышленники могли получить доступ к конфиденциальной информации, хранящейся в оперативной памяти сервера несмотря на то, что весь обмен данными проводился по защищенному каналу. Из-за широкой распространенности библиотеки уязвимыми стали не менее полумиллиона сайтов, а на устранение ошибки, по самым скромным оценкам, понадобилось 500 миллионов долларов. Причем до сих пор непонятно, что же это было: случайная ошибка или все-таки закладка.

Вместе с тем, дело уже не только в деньгах. Угрозы в сфере кибербезопасности ставят под удар жизнь и здоровье миллионов людей, ведь ошибки в ПО могут привести к авариям на критических объектах. В связи со столь напряженной ситуацией мировые затраты на цифровую безопасность в 2019 году, как ожидается, вырастут до 2

триллионов долларов (это 16-кратный рост по сравнению с 2013 годом и 4-кратный по сравнению с 2015-м).

Необходимость обеспечивать высокий уровень кибербезопасности при сохранении на конкурентоспособном уровне эффективности и продуктивности – это долговременный вызов. Особенно стоит подчеркнуть, что классические методы защиты (защита по периметру, антивирусы, криптографические методы для обеспечения целостности и приватности данных и др.) в данном случае являются хоть и необходимыми, но не основными. Они не способны полностью обеспечить должный уровень безопасности. Невозможно также и разработать какую-то унифицированную технологию (например, «безопасную ОС»).

Ключевое направление противодействия киберугрозам – разработка новых моделей, методов и соответствующих технологий системного программирования, которые позволяют проводить глубокий анализ процессов трансформации программ с двумя целями: обнаружить и устранить максимальное количество дефектов в исполняемом коде на этапах разработки и предотвратить или смягчить последствия эксплуатации оставшихся. Наличие и зрелость такого комплекса технологий фактически определяет уровень кибербезопасности программно-аппаратных систем всех приоритетных направлений научно-технологического развития нашей страны. Можно с уверенностью утверждать, что такой комплекс – это некая «сквозная» технология, которая является одной из основ надежно функционирующей цифровой экономики.

Основные прикладные задачи, которые должен решать данный комплекс технологий, можно разделить на четыре группы: это задачи, которые непосредственно касаются жизненного цикла разработки безопасного ПО, задачи из области аудита безопасности целевого ПО, а также сертификации и СПСИ, и наконец – противодействия эксплуатации.

2. Состояние дел в обеспечении кибербезопасности

В настоящее время передовыми технологиями, обеспечивающими кибербезопасность, в полной мере обладают только США. Европейские и азиатские компании вынуждены пользоваться американскими инструментами. На протяжении многих лет в США ведутся государственные программы, нацеленные на долгосрочное развитие технологий кибербезопасности. Ключевые роли в организации этих программ играют Национальное Агентство Безопасности (NSA), Национальный институт стандартов и технологий (NIST), Министерство внутренней безопасности (DHS) и Министерство Обороны (DoD). Последнее участвует как опосредованно – через проекты DARPA, так и напрямую – силами ведомственных исследовательских лабораторий, таких как AFRL. С 1999 года развиваются и применяются госстандарты Common Criteria.

Создаются научные школы в ведущих университетах и организуется их совместная деятельность (CyLab Security and Privacy Institute). К 2018 году число центров киберзащиты достигло 266. Образовательные программы центров, как правило, рассчитаны на 2 или на 4 года. В число изучаемых предметов входят не только традиционные для кибербезопасности дисциплины, такие как криптография, судебная экспертиза, анализ рисков безопасности, но и предметы компьютерных наук: общий курс системного программирования, разработка безопасного ПО, обратная инженерия ПО, анализ безопасности ПО, операционные системы, облачные вычисления и др.

Наиболее наглядно инвестиции в кибербезопасность прослеживаются в цепочке программ DARPA, направленных на глубокую автоматизацию анализа безопасности

ПО, когда задачу обнаружения дефектов и вредоносного кода решают автоматические системы: APAC (2013-2015), VET (2013), CGC (2016), CHES (2018). Человек (аналитик безопасности) играет в таких системах вспомогательную роль, при необходимости корректируя направления автоматического анализа. Например, в соревновании CGC в модельном окружении под управлением Linux-подобной системы требовалось организовать автономный поиск критических дефектов в условиях отсутствия исходных кодов и построение патчей с исправлениями. Цель последнего проекта CHES – разработка масштабируемых систем автоматизированного поиска всех типов уязвимостей, причем системы должны иметь способность обучаться с учетом найденных уязвимостей и подсказок, полученных от аналитика. Для объективной оценки таких систем предполагается разработать тестовые примеры, содержащие известное количество намеренно встроенных в них уязвимостей.

3. Перспективные направления исследований

Технологии поиска ошибок и уязвимостей, а также предотвращения эксплуатации оставшихся, многолики. Из-за описанной сложности задачи и огромных массивов кода невозможно обойтись одной технологией или направлением работ. Необходимо развивать десятки базовых алгоритмов, моделей и методов, которые условно можно классифицировать следующим образом: «вспомогательные» технологии построения контролируемой среды выполнения программ, разработки виртуальных машин, в целом решающие задачу надежного построения необходимых представлений, будь то программы в исходном или бинарном коде, а также программы, которая может активно защищаться от ее исследования. Далее, это фундаментальные модели программы, памяти машины, и основанные на них алгоритмы статического и динамического анализа, верификации, позволяющие исследовать полученное представление программы для поиска ошибок, доказательства их отсутствия, анализа архитектуры и т.д. И наконец, это технологии построения доверенной среды выполнения, песочниц, диверсификации кода, верификации контроля доступа, позволяющие смягчить последствия эксплуатации уязвимостей или вообще предотвратить таковую. Из этих базовых, фундаментальных, наукоемких технологий и методов необходимо выстраивать технологические «цепочки» под каждую конкретную прикладную задачу отдельно. В частности, задачи разработки безопасного ПО на всем протяжении жизненного цикла, аудита безопасности, уже разработанного сторонними компаниями ПО, противодействия эксплуатации требуют различных комбинаций упомянутых технологий.

При всей важности вышеперечисленных подходов, необходимо отметить, что сейчас нужно уделять внимание и математическим подходам в системном программировании в целях их дальнейшей реализации в виде аналогичных технологических цепочек. Перспективные направления в данной области – это квантовая передача данных и гомоморфное шифрование, которое подразумевает операции над зашифрованными данными на внешних ресурсах и последующую расшифровку данных на личном компьютере. Утечка данных, например, в облаке при выполнении необходимых операций над ними исключена, поскольку они постоянно остаются зашифрованными, пока не придут на машину пользователя. Для развития таких перспективных направлений нужны фундаментальные исследования с широким привлечением математических методов криптографии и дискретной математики.

Опыт нашего института доказывает, что академическая среда идеальна для генерации кадров и создания инновационных технологий. В настоящее время мы решаем актуальные задачи разработки продуктивного, безопасного и эффективного ПО с меньшими ресурсами, при этом удерживая высокий технологический уровень.

Многолетний опыт фундаментальных исследований в области системного программирования позволяет ИСП РАН разрабатывать десятки технологий, многие из которых уже прошли путь от идеи до практического внедрения. В частности, это инструмент статического анализа Svace, внедренный в компании Samsung с 2015 года. Началом разработки фундаментальных методов представления и анализа программ, легших в основу инструмента, следует считать 2003 год, и за прошедшее время эти методы несколько раз менялись – от простого межпроцедурного анализа до контекстно-чувствительного анализа с использованием символьного выполнения, одновременно показывающего масштабируемость и точность анализа в ходе учета отдельных путей выполнения. Инструмент Svace объединяет ключевые качества иностранных конкурентов по уровню анализа с использованием открытых промышленных компиляторов для разбора анализируемых программ в целях максимальной поддержки новых стандартов популярных языков программирования. Он обнаруживает более 50 классов критических ошибок в исходном коде, используя несколько движков анализа (более 300 детекторов уровня «поиск шаблона», около 200 детекторов глубокого межпроцедурного анализа). Время анализа всей ОС Android составляет 5-6 часов, уровень истинных срабатываний – до 90%. Svace интегрируется с любой системой сборки, осуществляет полное покрытие всех путей с учетом связей между функциями для поиска сложных ошибок, поддерживает не только полный, но и инкрементальный анализ системы.

Кроме того, институтом разработан комплекс инструментов AstraVer Toolset. Это система дедуктивной верификации ключевых компонентов, позволяющая разрабатывать и верифицировать модели политик безопасности, а также проводить доказательство корректности ключевых компонентов на языке С. Данный инструментарий решает те же задачи, что и аналогичные инструменты зарубежных компаний, однако благодаря специфической доработке обладает технологической уникальностью: возможностью верификации ключевых компонентов системы безопасности ядра Linux. AstraVer Toolset осуществляет комплексный подход к верификации, начиная с формализации требований верхнего уровня и заканчивая анализом поведения кода, и решает целый ряд важнейших задач профилей защиты (формальное моделирование политики безопасности, формальное доказательство внутренней непротиворечивости модели политики безопасности и недостижимости небезопасных состояний и др.). Система AstraVer Toolset применялась при разработке средств защиты информации ОС Astra Linux Special Edition (АО «НПО РусБИТех»).

В ИСП РАН создан также комплекс технологий по противодействию массовой эксплуатации уязвимостей, возникающих в результате ошибок или закладок, – ИСП Обфускатор, основанный на многолетних исследованиях запутывающих преобразований кода. Комплекс использует набор открытых компиляторов GCC, который позволяет корректно собирать код полного дистрибутива ОС, и применяет два метода диверсификации: динамическую диверсификацию кода при запуске программы (позволяет перемещать до 98% кода с небольшим увеличением его объема и ухудшением производительности примерно на 1,5%) и статическую диверсификацию (каждый раз при компиляции в зависимости от заданного ключа получается новый исполняемый файл). ИСП Обфускатор внедрен в ОС «Циркон», которую использует Пограничная служба России.

В числе разработок института есть и уникальные на рынке технологии. В частности, это ТРАЛ – промышленный инструмент для анализа свойств бинарного кода, применимый для анализа всего программного стека от загрузчика до прикладного ПО. ТРАЛ позволяет повысить уровень представления в случае, если исходный код продукта закрыт. В основе подхода лежит динамический анализ по

трассам выполнения, при необходимости дополняемый статическим анализом снимков памяти. Благодаря модульной архитектуре, данный инструмент позволяет расширять набор поддерживаемых целевых платформ и развивать функциональное наполнение среды. Кроме того, подход, реализованный в среде, невосприимчив к большинству известных приемов противодействия анализу.

Это лишь некоторые примеры разработок, которые демонстрируют высокий уровень научно-технологического развития Института и наличие у наших российских специалистов всех необходимых компетенций для создания и развития в России комплекса современных методов и инструментов противодействия киберугрозам.

4. Выводы

В настоящее время ситуация с обеспечением кибербезопасности такова, что никакая отдельно взятая компания или даже государство не в состоянии поддерживать необходимые темпы развития и соответствующий уровень безопасности без существенных рисков. Необходима комплексная программа исследований и разработок. Мировой тренд сегодня – создание некоммерческих организаций для долгосрочного развития технологий. К ним относятся, например, Linago – центр компетенций экосистемы ARM. Он был создан в 2010 г. и в 2016-м уже насчитывал 36 компаний-участников. Сейчас в продвижение платформы ARM вкладываются такие крупные конкурирующие компании, как Google, Samsung и Huawei. Существует и другая платформа – GlobalPlatform, которая занимается стандартизацией цифровых сервисов и нацелена на высокий уровень обеспечения безопасности в определенном сегменте. Это некоммерческая организация, которую финансово поддерживают сотни компаний, деля риски и ресурсы, потому что основная проблема – кадровая, и ошибки стоят очень дорого.

В России такой организацией может стать распределенный центр компетенций с комплексной программой исследований, нацеленной на получение фундаментальных знаний и международную кооперацию, создание технологий, стандартов и кадрового потенциала мирового уровня. Центр должен будет консолидировать усилия институтов РАН, университетов, компаний и государства по противостоянию киберугрозам. Наличие зрелых технологий позволит адаптировать их под требования различных отраслей промышленности, а существующий в стране потенциал сможет решить поставленную задачу в приемлемые сроки. Ключевая экспертная роль центра компетенций в такой программе может и должна принадлежать РАН.

***К.В. Рудаков*¹**

Математические основы технологий обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта

1. Замечание о терминах

Ниже термин Искусственный Интеллект (ИИ) используется «в широком смысле» как название комплексного научно-технологического и прикладного направления, включающего в себя полностью или частично поднаправления, обозначаемые такими широко используемыми в настоящее время терминами, как распознавание образов, машинное обучение, интеллектуальный анализ (больших) данных, интеллектуальные системы, нейронные сети, deep learning, data mining и т.д., и т.п. Следует отметить, что

¹ Заместитель директора ФИЦ «Информатика и управление» РАН, академик РАН

в публичном пространстве упомянутые термины сегодня очень часто используются без адекватного понимания их смысла.

2. О соотношении информационного и классического моделирования

Рассматривая ИИ как раздел прикладной математики и информатики, отметим, что важное отличие от классического математического моделирования состоит в том, что для использования методов и подходов ИИ не является необходимым наличие адекватной математической модели исследуемой предметной области, выражаемой некоторой системой уравнений типа законов Ньютона, законов сохранения, балансовых соотношений или уравнений Навье-Стокса. Этим в значительной степени определяется широта спектра приложений технологий и систем ИИ: от анализа текстов на естественном языке и медицины и до управления беспилотными устройствами и технической диагностики.

В системах класса ИИ используются алгоритмы и методы, моделирующие не саму предметную область, а собственно процесс целенаправленной обработки имеющихся о ней данных. При этом многие приемы «подматриваются» у человека и животных, часто у параметров нет четкого физического смысла и размерности, формализуются и используются понятия типа «важность или информативность признака», «сходство», «норма/патология», «полезность данных» закономерность, рассуждения и причинно-следственные выводы «по аналогии», зависит/не зависит и т.п.

Итак, можно сказать, что ИИ как сумма технологий представляет из себя комплекс методов и алгоритмов, позволяющих получать в той или иной степени правильные и полезные решения или подсказки в ситуациях, когда есть данные, от которых прямо или косвенно зависит искомое решение, но вид этой зависимости неизвестен. В этом случае чаще всего непосредственно используются «прецеденты», т.е. описания аналогичных случаев или объектов, для которых заведомо известны правильные или неправильные (негативный опыт) решения.

3. О соотношении с когнитивными науками

Следует отдельно отметить, что в течение последних десятилетий интенсивно развивается отдельное очень важное научное направление, в котором основным объектом изучения являются процессы мышления у человека и животных. В данном случае вопросы построения адекватной математической модели процессов мышления остаются, по-видимому, пока еще открытыми. Прямой связи между полученными в ходе развития этого направления результатами и многослойными алгоритмическими конструкциями типа нейросетей пока не наблюдается, так что для ИИ как информационной технологии нейрофизиологические когнитивные исследования в основном оказываются просто отдельной предметной областью. Так, для анализа данных электроэнцефалографии головного мозга и решения соответствующих диагностических задач и задач распознавания успешно применяются универсальные спектральные методы, пригодные для анализа и иных сложных сигналов.

4. Интеллектуальный анализ данных как задача синтеза корректных алгоритмов

Прикладные задачи интеллектуального анализа данных при внимательном рассмотрении обычно оказывается возможным описать как задачи синтеза алгоритмов (и даже, более просто – как задачи написания компьютерных программ), реализующих преобразование некоторых имеющихся или поступающих данных в «ответы» из определенного словаря. При этом явно или, что часто бывает, неявно задаются пространства «начальных» и «финальных» информации и требования к

«допустимому» отображению из первого пространства во второе, которое должно быть реализовано искомым алгоритмом, называемым корректным для данной задачи. Например, в задачах обучения по прецедентам частью указанных требований к допустимым отображениям может быть условие соответствия «ответов» корректного алгоритма известным заранее «правильным» ответам.

5. Некоторые примеры: классификация, кластеризация, выявление закономерностей (Data Mining), прогнозирование (ряды)

В качестве характерных для обсуждаемой области примеров приведем задачи классификации. Здесь рассматривается ситуация, когда имеется некоторое множество объектов, в котором имеются подмножества, называемые классами. Классы как правило имеют содержательную «внешнюю» интерпретацию. Скажем, в задачах автопилотирования классом может быть множество ситуаций, в которых надо предпринять одно из возможных действий («ничего не делать», «ускориться», «затормозить», «повернуть налево» или «повернуть направо»), в задачах медицинской диагностики классом может быть множество пациентов с определенным диагнозом («здоров» – тоже диагноз). Можно сказать, что с данной точки зрения понятие «болезнь X» – просто название некоторого подмножества живущих на Земле людей.

В качестве пространства начальных информации выступают имеющиеся в распоряжении алгоритма описания объектов и классов. Эти описания могут быть частичными, неполными, содержать ошибки наблюдений и т.д. Крайне характерной частью этих описаний являются прецеденты – описания объектов с заведомо известной принадлежностью классам. В качестве пространства финальных информации выступает обычно просто множество имен классов. Алгоритмы классификации должны «уметь» определять по описаниям «новых» объектов их принадлежность тем или иным классам.

Задачи кластеризации и, в более общем случае, задачи типа Data Mining отличаются тем, что в них изначально не присутствуют классы как таковые, но требуется найти «закономерности» или «особенности» в данных, которые в дальнейшем могут быть интерпретированы с содержательной в проблемной области точки зрения и, соответственно, использованы на практике.

Внутренне близки к рассмотренным и задачи прогнозирования, в которых исследуются, в том числе, пучки временных рядов. Здесь дополнительно широко используются спектральные методы, предположения о марковости процессов и т.п.

6. Машинное обучение (Machine Learning) и неклассическая экстраполяция

Термин «обучение машин» известен с 50-х годов прошлого века. При этом под обучением понималось прежде всего «обучение на прецедентах» или, говоря на более «человеческом» языке, – обучение на примерах. Прецеденты понимаются в данном контексте как пары («описание объекта или явления», «правильный ответ»). Рассматривая совокупность описаний объектов как узлы «экстраполяции» и соответствующие ответы как значения искомой функции, мы можем сказать, что это задачи экстраполяции или, точнее говоря, продолжения допустимой функции. Существенная особенность по отношению к классической математике здесь определяется тем, что пространства начальных информации обычно крайне сложно устроены. Только в простейшем случае они оказываются евклидовыми большой размерности (от десятков до тысяч), осями (признаками) могут быть изображения, сигналы, графы и т.д. Отдельную сложную и интересную проблему представляет собой описание дополнительных к точности на прецедентах требований, выражаемых, скажем, специальными категориями, реляционными системами и т.п.

7. О «феномене переобучения»

Одна из важнейших проблем в случае обучения по прецедентам связана с так называемым «переобучением». Дело в том, что абсолютно точный на прецедентах, но заведомо бессмысленный алгоритм можно построить, положив, например, что для всех прецедентных объектов порождается уже известный правильный ответ, а для всех остальных ответ выбирается с помощью датчика случайных чисел. Ситуация в некотором смысле близка использованию полиномов Лагранжа для задач с существенным числом узлов интерполяции. В случае, когда в процессе обучения производится выбор наиболее точного на прецедентах алгоритма из некоторого конечного множества, при принятии естественных статистических гипотез можно получить оценки «надежности» его работы на всей совокупности. В работах проф. В.Н. Вапника и А.Я. Червоненкиса из Института проблем управления РАН и их многочисленных последователей такие оценки были распространены на потенциально бесконечные семейства алгоритмов. На основе того факта, что даже при потенциально бесконечном исходном семействе алгоритмов и конечной выборке прецедентов при фиксированном методе выборе из семейства конкретного алгоритма по данной подвыборке в принципе могут быть построены алгоритмы только из конечного подсемейства, проф. РАН К.В. Воронцовым и его научной школой построена так называемая комбинаторная теория для оценивания надежности решений, позволившая получать существенно более тонкие и точные оценки.

8. Замечание о корректности по Адамару

С точки зрения классических представлений о корректности по Адамару рассматриваемые задачи некорректны. Лишь вопрос о разрешимости, трактуемый как вопрос о непустоте множеств допустимых отображений или же как вопрос о непротиворечивости требований к этим отображениям, имеет в некоторых случаях точные формальные решения. Вопрос о единственности решений имеет фактически всегда отрицательный ответ. Дело в том, что для рассматриваемых проблемных областей принципиально нет адекватных математических моделей и, кроме того, решением считается алгоритм, так что дополнительно неединственность вытекает формально и из возможности реализации данного отображения различными алгоритмами. Наконец, вопрос об устойчивости решений даже для начала его обсуждения требует наделения пространств начальных и финальных информации некоторой структурой типа метрики или топологии, что само по себе может быть отдельной гипотезой и требовать отдельных обоснований. Отметим только, что в некотором смысле проблема устойчивости находит отражение в исследованиях регулярности как «устойчивой разрешимости» и соответствующих «радиусов разрешимости и регулярности».

9. Замечание об эвристичности моделей алгоритмов и операциях над алгоритмами

Как уже говорилось выше, отличие от классического математического моделирования состоит в том, что для применения методов интеллектуального анализа данных не является необходимым наличие адекватной математической модели исследуемой предметной области. Обсуждаемые методы имеют в основе выраженные в виде параметрических семейств отображений общие идеи о возможных зависимостях искомых «ответов» от входных данных. Эти параметрические семейства отображений принято называть эвристическими моделями алгоритмов.

Термином «эвристические» здесь подчеркивается отсутствие в том или ином смысле «доказанных законов природы», на которых базируются классические модели.

Скажем, при моделировании физических явлений и процессов в моделях используются законы сохранения энергии и импульса, в моделировании экономики – балансовые соотношения и т.п. В случае информационных моделей, т.е. моделей процессов преобразования информации, аналогичных законов нет. Из этого наблюдения около пятидесяти лет назад академик Ю.И. Журавлевым был сделан вывод о том, что сами по себе эвристические модели или, точнее, алгоритмы из этих моделей, можно рассматривать и использовать как точки некоторых функциональных пространств, над которыми можно смело вводить определенные «корректирующие» операции. Важно, что получающиеся в результате применения этих операций новые алгоритмы оказываются не менее «обоснованными», чем алгоритмы из исходных эвристических моделей. Такой прием в классическом моделировании мало применим: нельзя, например, решая задачу по физике, допустить, что «слегка нарушается закон сохранения момента импульса» или выписать уравнение, в котором величины в правой и левой части будут иметь разные размерности.

10. Многослойные алгоритмические конструкции

Важная идея состоит в том, что алгоритмы строятся в виде суперпозиций «распознающих операторов», «корректирующих операций» и «решающих правил» (алгебраический подход Ю.И. Журавлева и его школы), последовательных слоев в нейросетях и т.д. При этом для таких многослойных алгоритмических конструкций существенным оказываются вопросы формирования структур связей между слоями, т.е. определения состава аргументов для процедур «следующего слоя» и вида функциональных зависимостей, параметры которых идентифицируются в результате обработки прецедентов.

Следует отметить, что существенная общематематическая база для теоретического исследования была создана в СССР как раз в рамках алгебраического подхода еще в конце 70-х годов XX века.

11. О базах и полноте

При построении алгоритмов-решений используются параметрические семейства отображений из одних «пространств оценок» в другие. Пространства оценок при этом могут быть наделены различного рода структурами (пространства действительных матриц, частично-упорядоченные множества или реляционные системы и т.д.). Важнейшими с общематематической точки зрения здесь оказываются вопросы сохранения разрешимости при переходах из одного пространства в другое и достаточном «богатстве» используемых исходно эвристических семейств (моделей) алгоритмов.

Вопрос о сохранении разрешимости сводится, в том числе, к исследованию подмножеств виртуальных пространств оценок с позиций их достаточности для построения с помощью допустимых отображений определяемых прецедентами образов. Достаточное свойство указанных подмножеств определяется как свойство «быть базой». Понятие базы близко к понятию множества образующих в обычных алгебраических системах. Достаточное «богатство» определяется как свойство «полноты моделей», на содержательном уровне означающее, что их использование не ограничивает множество разрешимых задач по сравнению с множеством всех отображений, удовлетворяющих дополнительным к прецедентным требованиям. В классической математике аналогом могут служить, скажем, параметрические семейства функций, в рамках которых имеются решения для всех задач аппроксимации, у которых есть решение в классе непрерывно-дифференцируемых функций с ограниченными производными.

12. Построение алгоритма как цикл задач условной оптимизации

Следует отметить, что реальное построение алгоритмов в большой степени сводится к синтезу и решению различного рода задач условной оптимизации. Здесь широко используются как классические приемы математического программирования, так и методы дискретной оптимизации. Достаточно часто возникают вопросы о эффективной аппроксимируемости труднорешаемых задач и организации различного рода процедур переборного типа. Вышеупомянутые условия сохранения разрешимости при построении суперпозиций выступают при этом в качестве ограничений, а для регуляризации применяются эвристические функционалы, отражающие интуитивные представления о «компактности классов», сложности границ, «метрических сгущениях», «разреженности» и т.п.

13. О сходимости процедур обучения алгоритмов

Как существенную особенность многих современных вычислительных методов, используемых, в частности, при «глубоком обучении», отметим чрезвычайно медленную сходимость процедур идентификации параметров. Эта проблема еще требует своего чисто математического осмысления и решения, поскольку как результат возникает потребность в использовании гигантских прецедентных массивов и вычислительных ресурсов.

14. Мировое положение дел и тенденции развития ИИ

В настоящее время во всем мире наблюдается взрывной рост интереса к ИИ. Развитие ИИ рассматривается уже как политический фактор, причем для самого направления это имеет и ряд негативных последствий, в том числе – и в виде завышенных ожиданий. В качестве очевидной причины можно указать на быстрое развитие и удешевление программно-аппаратных средств для фиксации в электронном виде, передачи и хранения данных (начиная с видеокамер в каждом мобильном телефоне и кончая специальными сенсорами, датчиками и Интернетом) и рост мощности доступных вычислительных устройств. В результате «автоматически» возникают сравнительно легко и дешево доступные для обработки «сырые» данные, что создает предпосылки для постановки и решения на их основе различного рода содержательных задач класса ИИ.

15. О феномене Python'a

Менее очевидная причина состоит в том, что для решения стандартных задач наработан и легко доступен программный инструментарий, быстро овладев которым и не имея специальных математических знаний и даже не понимая принципы и алгоритмы работы отдельных модулей (чаще всего – в Python'e), можно строить из этих модулей, вообще говоря, работоспособные системы для конкретных задач и задачек.

Как следствие, мировой тенденцией стало массовое возникновение (и, соответственно, исчезновение) так называемых «стартапов», для которых скорость разработки, ее внешняя эффектность и реклама оказываются доминирующими факторами успеха в ущерб качеству и эффективности решения. Тем не менее, в качестве глобальной тенденции следует отметить «тотальный характер» проникновения ИИ во все сферы, начиная с интеллектуального производства, smart-вооружений и кончая «интернетом вещей», роботами-пылесосами и т.п. Даже поверхностный и заведомо неполный обзор имеющихся и возможных областей и направлений приложений ИИ выходит за рамки разумного объема настоящего текста.

16. О некоторых мотивах постановки задач ИИ

Отдельно следует отметить, что задачи класса ИИ (именно задачи, а не решения) агрессивно применяются производителями различного рода аппаратных средств для продвижения своей продукции с постоянно растущими характеристиками. Это приводит к тому, что для получения практически полезного результата предпочтительным оказывается использование существенно избыточного количества данных и вычислительных мощностей. Особенно это заметно в задачах, решаемых на базе обработки и анализа массивных видеоданных, но допускающих альтернативные эффективные и дешевые решения. При постановке задач класса ИИ и определении тактико-технических требований к решениям крупные заказчики/потребители часто пользуются дорогостоящими услугами различного рода и уровня консалтинговых компаний, заинтересованных обычно в продвижении тоже максимально дорогостоящих систем и услуг аффилированных с ними производителей.

17. О кадрах

Отдельной проблемой во всем мире является дефицит высококвалифицированных кадров: дефицит специалистов в области анализа данных (data scientists), оцениваемый в 300 000 человек, приводит к жесткой конкуренции работодателей на мировом рынке труда и предложению для таких специалистов наилучших финансовых и прочих условий при приеме на работу. Следует отметить, что от указанных специалистов требуется повышенная математическая подготовка, а также понимание возможностей и ограничений применения информационных технологий. Особое внимание к подготовке и удержанию специалистов по интеллектуальному анализу данных – долгосрочная тенденция в ведущих зарубежных странах.

18. Роботы и «боты»

В последнее время возрастающее внимание вызывают «роботы», причем спектр использования этого термина крайне широк: от антропоморфных двигающихся кукол и до функционирующих в Интернете автоматических вопросно-ответных систем и «ботов», не имеющих, естественно, механических компонентов. Также роботами называют различные наземные и летательные радиоуправляемые изделия. Важнейшей тенденцией здесь будет повышение автономности управления, т.е. повышение уровня и расширение спектра принимаемых самими бортовыми системами управления решений, а также управление массовым поведением групп роботов.

19. ИИ и человеческие сообщества

В качестве долгосрочного мирового тренда следует отметить применение методов интеллектуального анализа больших данных к комплексированным данным о гражданах и их сообществах. В части методов и алгоритмов здесь особенности задач состоят в том, что объекты помимо «собственных» признаков описаний оказываются описаны связями с другими объектами. Это характерно, скажем для задач так называемой коллаборативной фильтрации, решаемых для таргетирования коммерческой или политической рекламы. Как важнейшее технологическое требование к решениям подобных задач возникает условие субквадратичной сложности по числу объектов (число всех попарных связей растет квадратично).

В связи с указанным в предыдущем абзаце направлением следует отметить возрастающее внимание к проблеме охраны персональных данных. Проблема имеет ярко выраженный междисциплинарный характер, поскольку здесь существенны и правовые, и технологические аспекты. В более широком контексте защита и корректное использование персональных и деперсонифицированных данных входят в

проблематику компьютерной безопасности. По отношению к ИИ компьютерная безопасность выступает как комплексное научно-технологическое направление, которое, с одной стороны, оказывается как обеспечивающим (скажем, как системное программирование), так и потребляющим алгоритмы и методы ИИ, что представляется сравнительно новой, но явно долговременной тенденцией.

20. О научных математических школах в области ИИ

Как научное направление ИИ возник в середине прошлого века, прежде всего, в США, но вскоре (после «реабилитации» кибернетики) стали формироваться отечественные научные школы. Существенно, что основатели этих школ в ВЦ АН СССР, ИПУ АН ССР, МГУ, МФТИ и других институтах были классическими математиками, прежде всего, специалистами в области математической логики и теории вероятностей. Это определило высокий теоретический уровень исследований и результатов и, в то же время, отличие от зарубежных школ, в которых ИИ рассматривался как преимущественно инженерная наука. Следует отметить, что многие теоретические достижения отечественных ученых часто «переоткрывались» на западе под другими названиями.

В настоящее время российские ведущие научные школы в области ИИ испытывают существенные трудности. Одна из главных причин – востребованность кадров на внутреннем и мировом рынке труда. Это приводит к оттоку недоучившихся перспективных молодых людей в коммерческие структуры или их отъезду за рубеж.

Негативные последствия имеет также слепое следование привносимым извне критериям оценки работы ведущих ВУЗов и научных организаций. Скажем, основные требования к МФТИ со стороны Минобрнауки сводятся к финансовым показателям и количеству зарубежных публикаций, зачастую платных. Как результат идет фактическое разрушение лучших факультетов и кафедр, снижается качество преподавания и подготовки студентов, а именно это должно бы было быть главным критерием оценки ВУЗа.

Тезис о переносе исследовательской и образовательной деятельности в высокотехнологичные коммерческие компании представляется сомнительным, поскольку эти направления для этих компаний оказываются «непрофильным активом», что видно даже на примере «Сбертех», имеющего по сравнению с классическими ВУЗами фактически неограниченные финансовые возможности.

21. О проблеме внедрений в РФ и роли РАН

В части коммерческих решений, производимых отечественными ИТ-компаниями, конкурентные позиции РФ представляются соответствующими уровню развивающихся стран. Следует отметить, что при этом значительная часть создаваемых в России разработок производится фактически зарубежными компаниями. При оценке «научно-технологического задела» в области ИИ следует принимать во внимание тот факт, что этот задел в условиях глобализации и открытости не может иметь жесткой страновой привязки. Достаточно упомянуть распределение работ по программированию между США, Индией и Китаем. Как тенденцию можно отметить стремление ведущих стран к сохранению за собой прав собственности на продукты, постановку задач, общее руководство проектами и процессов продвижения результатов на рынок. Одним из инструментов преодоления указанной проблемы должна стать обязательная независимая экспертиза наукоемких ИИ-проектов в контролируемых государством компаниях на стадии постановки задачи и дальнейшее сопровождение их реализации силами РАН и институтов РАН.

Б.Н. Четверушкин¹

Суперкомпьютерные технологии – проблемы и перспективы ближайшего будущего

1. Тенденции роста производительности вычислительных систем

В настоящее время наблюдается быстрый рост производительности вычислительной техники. В июне 2018 года было объявлено о вводе в США в эксплуатацию вычислительной системы с пиковой (SUMMIT) производительностью 200 PFLOPS². Эта система имеет гибридную архитектуру, в которой в качестве ускорителей используются графические платы. Энергопотребление системы составляет 13 МВт. [1].

Система SUMMIT возглавила список TOP 500, обогнав бывшую до этого на первом месте в списке китайскую вычислительную систему SUNWAY с пиковой производительностью 125 PFLOPS, которая была введена в строй в 2016 году. Эта система состоит из 10649600 ядер, ее стоимость составила 273 млн \$, а энергопотребление 15 МВт.

В США планируется к 2023 году запустить вычислительную систему с производительностью 1 EFLOPS (1000 PFLOPS). Объявлен тендер на проведение проектных работ по созданию второй и третьей системы экзафлопной производительности. Европейский союз также планирует ввести в 2023 году систему экзафлопной производительности, выделяя на эти цели 1 млрд €. [2]

Упомянутые выше системы с рекордной производительностью представляют из себя своеобразную вершину пирамиды. На более низких уровнях находятся центры с производительностью порядка 5-10 PFLOPS. Так в одной Германии к этому классу можно отнести несколько вычислительных центров, создание которых и их эксплуатация в значительной мере поддерживаются региональными властями (Юлих, Мюнхен, Фрайбург, Дрезден, Гамбург, Штутгарт). Производительность вычислительной системы Hazel Hen в Штутгарте составляет 7,4 PFLOPS, ее стоимость 35 млн. \$ (30 млн. €), а энергопотребление 3,2 МВт.

Производительность наиболее мощной общедоступной системы России составляет 5 PFLOPS (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова).

2. Высокопроизводительные вычисления – эффективный инструмент цифровой экономики

Создание вычислительных систем высокой и сверхвысокой производительности, как видно из приведенных выше ориентировочных оценок стоимости, требует больших финансовых вложений. Достаточно затратна, как следует только из оценки энергопотребления вычислительных комплексов, их повседневная эксплуатация. Однако страны с развитой экономикой идут на эти затраты. И дело здесь не столько в спортивном интересе (хотя этот фактор нельзя полностью сбрасывать со счета) занять престижные места в списке TOP 500 самых высокопроизводительных комплексов. В первую очередь, стремление обзавестись все более производительными вычислительными системами объясняется их возможностями, определяющими успешное развитие широкого спектра проблем, ключевых для прогресса той или иной страны.

Приведем список направлений, для которых применение высокопроизводительных вычислений, оказывает сильное положительное влияние на их развитие.

¹ Научный руководитель ФИЦ «Институт прикладной математики РАН», академик РАН

² 1 PFLOPS – один петафлопс соответствует 10^{15} операций с плавающей запятой, производимых в одну секунду.

- а) Фундаментальная наука
- б) Аэрокосмическая индустрия
- в) Энергетика – традиционная, атомная, термоядерная
- г) Добыча, разведка углеводородного сырья
- д) Нано- и биотехнологии
- е) Создание новых материалов
- ж) Экология, изменение климата, погода
- з) Индустрия больших данных
- и) Государственное и корпоративное управление
- к) Персонафицированная и высокотехнологичная медицина
- л) Сельское хозяйство и биотехнологии
- м) Оборонные исследования
- н) Дистанционное зондирование Земли.

Естественно, что в каждом из перечисленных направлений имеется большой набор задач, в решении которых высокопроизводительные вычисления оказывают большое положительное влияние. Так, например, в настоящее время исследование турбулентных течений невозможно представить без прямого моделирования неустойчивостей на высокопроизводительных системах. При этом моделирование неустойчивостей все более мелких масштабов требует применения все более производительных систем. [3] Вряд ли аппетиты исследователей будут удовлетворены возможностями использования систем с производительностью 1 EFLOPS.

К задачам фундаментальной науки, требующих для своего решения экзафлопсных ресурсов следует отнести проблемы астрофизики, теории горения, квантовой химии и многие другие. При этом следует отметить, что в более упрощенных постановках моделирования данных задач в настоящее время происходит и на вычислительных системах более скромной производительности.

На рис. 1 изображен результат моделирования появления гигантской коллинеарной космической струи, образующейся при поглощении вещества Галактики массивным астрофизическим объектом. [4, 5] Для описания этого явления использовалась система, состоящая из 3D уравнений вязкого теплопроводного газа, уравнений магнитной индукции с учетом магнитной вязкости и уравнения гравитационного потенциала.

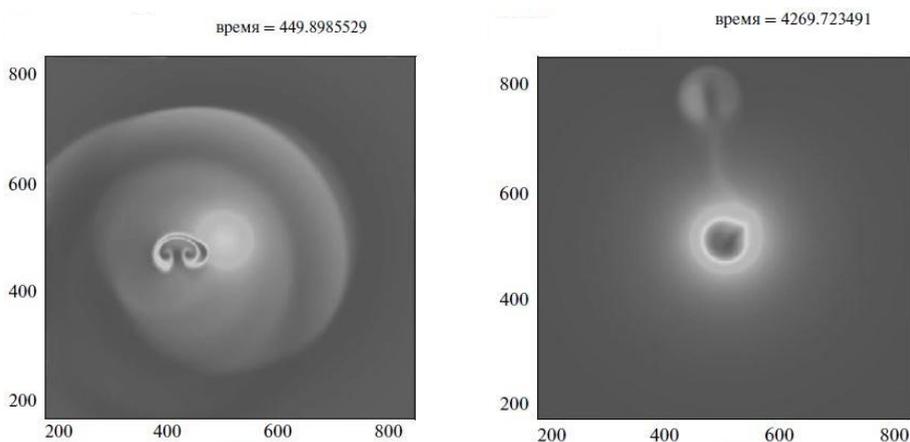


Рис. 1. Образование космической струи

Для аппроксимации этой сложной системы уравнений использовались пространственная сетка, состоящая из $2 \cdot 10^9$ узлов. При использовании сеток, состоящих из менее чем $5 \cdot 10^8$ узлов, образование космической струи не наблюдалось.

Задачи, связанные с развитием технологических процессов, в значительной мере используют математическое описание проблем фундаментальной науки. Так аэрокосмическая индустрия опирается на методы и программные средства, разрабатываемые для решения фундаментальных задач гидро и газовой динамики; для моделирования экологически чистого сжигания топлива в традиционной энергетике используются методы решения задач теории горения; моделирование процессов добычи нефти опирается на методы решения задач теории фильтрации.

Относительно новым направлением применения суперкомпьютерных технологий является проблема цифрового ядра [6, 7]. Процедура определения свойств геологического пласта в этом случае заключается в следующем. Малой объем породы (несколько миллиметров характерного линейного размера), добытой из подземного горизонта сканируется и определяется структура его микроканалов (рис. 2).

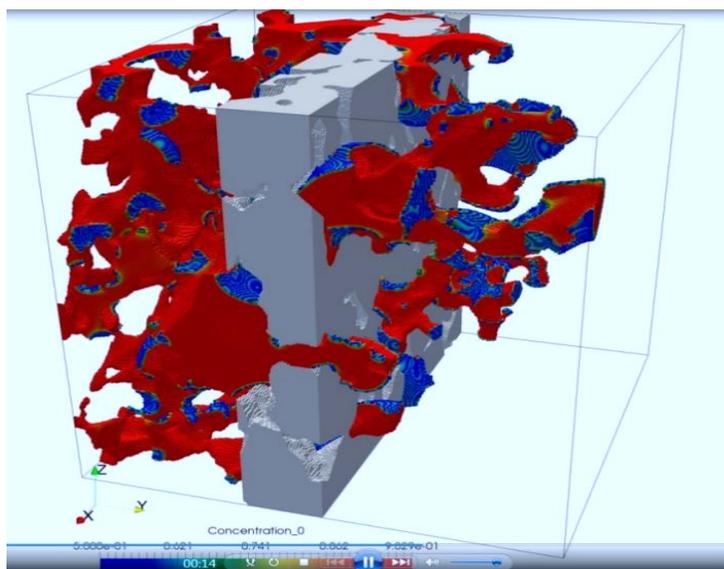


Рис. 2. Структура течения флюидов в микроканалах

На этой сложной трехмерной геометрии производится моделирование течения подземного флюида, с помощью пространственной аппроксимации, состоящих от 10^7 до 10^8 узлов. При этом становится возможным оперативное определение свойств пласта при различных перепадах давления, состава флюида.

Применения суперкомпьютерных технологий дает ощутимый экономический эффект. Так при создании образцов новой техники стоимость опытно-конструкторских работ уменьшается в 2-2,5 раза. В тех же пропорциях происходит снижение времени создания новых изделий. Использование суперкомпьютерного моделирования для мониторинга добычи нефти приводит к ее увеличению до 5 %. В некоторых случаях таких, например, как оценка экологических последствий некоторых технических решений, суперкомпьютерное моделирование является единственным источником достоверной информации.

Индустрия больших данных также не может сколь-нибудь успешно существовать без применения суперкомпьютерных технологий. Здесь из огромного объема информации с помощью высокопроизводительной системы происходит выбор небольшого количества необходимой информации. Эти технологии успешно применяются в органах государственного и корпоративного управления, оценки последствия принятия тех или иных решений, управления рисками. Важной областью применения методологии больших данных являются генетические исследования в медицине и сельском хозяйстве, персонализированной медицине. Значение этих исследований, имеющих огромное социальное и экономическое значение, с ростом производительности вычислительной техники будет только возрастать [8, 9].

Интересно проследить связь суперкомпьютерных технологий с решением важнейших проблем, стоящих перед страной. Так проблема связности Российской Федерации, требует решения вопросов транспортной логистики, достоверного предсказания погоды и изменения климата, особенно для районов Крайнего Севера, обработки данных космических наблюдений. В свою очередь их решение невозможно без привлечения суперкомпьютерных технологий. Создание с помощью нанотехнологий новых материалов, обладающих заданными свойствами, невозможно без использования многопроцессорных алгоритмов молекулярной динамики.

Подводя итог этому достаточно фрагментарному описанию, можно сказать следующее. Хотя сами по себе высокопроизводительные вычисления и не обладают потребительской стоимостью, без их применения и развития сколь-нибудь успешный прогресс практически во всех отраслях народного хозяйства и социальной сфере невозможен. Суперкомпьютерные технологии не включают в себя всю цифровую экономику, однако, являются ее важнейшей составляющей.

Этим значением суперкомпьютерных технологий определяется внимание в зарубежных развитых странах к их совершенствованию, а также введением в строй все более высокопроизводительных образцов вычислительной техники. То же самое, в полной мере, нужно сказать и о нашей стране, для которой высокопроизводительные вычисления являются инструментом ускоренного технологического и социального развития, а учитывая геополитическое значение России, ее размеры, наличие востребованных природных ресурсов, суперкомпьютерные технологии являются важным фактором национальной безопасности страны. Перефразируя известное высказывание В.И. Ленина, можно сказать, что суперкомпьютерные технологии являются одним из тех звеньев цепи, ухватившись за которые можно обеспечить ускоренное развитие России.

3. Условия успешного развития суперкомпьютерных технологий

Можно выделить четыре основные условия успешного развития суперкомпьютерных технологий:

- 1) Наличие достаточного количества высокопроизводительных систем. Постоянное их обновление;
- 2) Квалифицированные кадры, способные эффективно использовать высокопроизводительную вычислительную технику;
- 3) Законодательная и регламентирующая база, способствующая успешному применению суперкомпьютерных технологий;
- 4) Алгоритмы и прикладное математическое обеспечение для систем с экстремальным параллелизмом.

По п. 1. Необходимость выполнения первого условия очевидна. Без наличия высокопроизводительных вычислительных систем говорить о широком применении суперкомпьютерных систем бессмысленно. Причем сеть суперкомпьютерных центров

должна быть достаточно разветвлена. Наряду с центром, (или двумя-тремя аналогичной производительности центрами федерального значения) занимающим престижное место в списке TOP 500, должна существовать сеть региональных центров, с производительностью в несколько раз ниже, чем у центра первого уровня. Не реже чем раз в 5 лет эти центры должны подвергаться серьезной модернизации для заметного увеличения их производительности на основе новой элементной базы.

По п. 2. Современные суперкомпьютерные технологии предъявляют особые требования к подготовке кадров. При этом особо острая потребность возникает именно к наличию специалистов высшего уровня, которые должны с учетом постоянного изменения архитектуры суперкомпьютеров, роста их производительности, разрабатывать новые алгоритмы и программные средства, а также эффективно их использовать для решения задач на новых вычислительных системах.

Специалисты высшей квалификации должны обладать достаточным багажом знаний в области вычислительной математики и системного программирования, активно использовать информацию об особенностях архитектуры современных суперкомпьютеров. Кроме того, исследователи, специализирующиеся в том или ином направлении моделирования, должны иметь достаточные знания в своей предметной области. Особенностью подготовки таких специалистов является необходимость постоянного обновления учебных курсов, отслеживающих быстро изменяющиеся тенденции в прикладной математике, программировании и архитектуре вычислительных систем. Необходим отбор одаренной молодежи, способной активно осваивать большой объем разнородной информации, и которая в своей дальнейшей деятельности была бы готова к постоянному поиску новых решений в использовании современных образцов вычислительной техники.

Подготовка специалистов высшей квалификации не может быть массовой. Ее целесообразно сосредоточить на базе небольшого количества университетов, где уже имеется положительный опыт такого обучения, например, МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ. Более масштабной должна являться подготовка специалистов, квалификации которых позволяла бы им на основе уже разработанных алгоритмов и программных средств успешно моделировать поставленные перед ними задачи. Естественно, никакого жесткого барьера между этими уровнями не существует, наоборот тенденции развития суперкомпьютерных технологий высказывают потребность в росте квалификации работающих специалистов.

По п. 3. Как уже отмечалось обслуживание вычислительных комплексов требует больших финансовых затрат. Необходимо выработать нормативы, регламентирующие финансирование их эксплуатации и амортизационные расходы. Также следует четко зафиксировать реестр потребителей услуг федеральных и региональных суперкомпьютерных центров, имеющих право при определенных условиях на безвозмездное использование их ресурсов. Кроме того, должны быть определены условия коммерческой эксплуатации таких центров.

Что же касается мер законодательного или административного стимулирования использования в промышленности суперкомпьютерного моделирования, то, как представляется, эта проблема несколько преувеличена. При наличии достаточного объема вычислительных ресурсов и, что не менее важно, наличии проблемно ориентированных прикладных программ, логика собственного успешного развития заставит промышленные корпорации активно использовать суперкомпьютерные технологии. Впрочем, определенные поощрительные меры в этом направлении могут быть предприняты. Следует отметить, что массовое и, в первую очередь, коммерческое использование суперкомпьютерного моделирования будет в свое

очередь активно стимулировать как развитие самой высокопроизводительной вычислительной техники, так и совершенствование технологий ее использования.

По п. 4. Обратимся теперь к последнему условию – алгоритмам и прикладному математическому обеспечению для систем с экстремально параллелизмом. Здесь кроется определенная интрига. Неявно доминирует мнение, что в сто раз более производительная система позволит решить на два порядка требующую больше вычислительного ресурса задачу. Это не совсем соответствует реальности¹.

В самом деле увеличение вычислительного ресурса, необходимого для решения задачи, приведет к пропорциональному увеличению узлов системы (процессов, ядер), одновременно задействованных во время моделирования. И здесь для большинства алгоритмов при одновременном задействовании громадного количества ядер происходит резкое падение эффективности параллельной обработки, которая определяет отношение роста производительности к росту количества независимых вычислителей. Граница начала этого негативного эффекта для различных алгоритмов колеблется в пределах от 10^4 до 10^5 ядер. Здесь уместна аналогия с давкой, возникающей при движении большого количества людей.

Успешно преодолеть этот барьер можно с помощью логически простых и эффективных алгоритмов. К сожалению, эти два качества – логическая простота и вычислительная эффективность очень редко коррелируют. Продемонстрируем это на примере решения систем параболических уравнений, к которым можно отнести уравнения Навье-Стокса, магнитной газовой динамики, теплопроводности, фильтрации и другие задачи, имеющие важное научное и промышленное значение.

Логически простые явные схемы идеально адаптируются на архитектуру систем с экстремально параллелизмом, увеличивая скорость вычислительного процесса пропорционально числу задействованных вычислителей. Однако, они обладают жестким ограничением на допустимый шаг по времени.

$$\Delta t \leq h^2$$

Здесь Δt – допустимый из условия устойчивости допустимый шаг по времени, h – характерный размер пространственной сетки.

Логически более сложные неявные схемы таким жестким условием не обладают. Однако при их решении с одновременным использованием большого количества вычислителей, эффективность параллельной обработки резко падает. Большое количество вычислителей требуется при использовании подробной (малое h) пространственной аппроксимации. В этой ситуации идеально распараллеливаемые явные схемы не дают возможности решения из-за жесткого условия устойчивости. Образуется своеобразный замкнутый круг, когда вычислительные системы сверхвысокой производительности, предназначенные для детального предсказательного моделирования невозможно использовать по прямому назначению.

Данная проблема становится одной из основных, стоящих на пути развития суперкомпьютерных технологий. Она может быть решена только средствами фундаментальной науки. На решение проблемы адаптации алгоритмов и математического обеспечения к архитектуре систем, состоящих из огромного числа независимых вычислителей (более 10^5 ядер) направлены усилия ученых и специалистов развитых стран. Следует отметить, что в этом направлении

¹ Конечно, если речь идет о задачах, требующих для своего моделирования ресурса, сопоставимого с ресурсами для задач, решаемых на менее производительной системе, увеличение количества решаемых вариантов будет пропорционально увеличению производительности системы.

исследований ученые России находятся на передовых позициях и это является определенным конкурентным преимуществом нашей страны.

Особую озабоченность вызывает проблема использования гибридных вычислительных систем, в которых в качестве ускорителей выступают графические платы. По мнению многих специалистов гибридные системы займут доминирующее место в парке суперкомпьютеров производительностью от 10 PFLOPS до 1 EFLOPS. Для этих систем важной проблемой является выделение из общего объема вычислений большого количества логически простых операций, которые обрабатываются непосредственно с помощью графических плат.

Новые подходы возникают и в области прикладного математического обеспечения для вычислительных систем сверхвысокой производительности. Здесь серьезные трудности возникают при создании программ, генерирующих неструктурированные сетки большой размерности, динамически адаптивные сетки, визуализации, включая построение изоповерхностей, данных сверхпроизводительных вычислений. Решение этих проблем ищется с помощью синтеза подходов, характерных для системного программирования и вычислительной математики.

В целом можно говорить о революционных, очень интенсивно происходящих изменениях в области вычислительной математики и системного программирования применительно к использованию систем сверхвысокой производительности. Об интенсивности этого процесса можно судить по числу публикаций, конференций и симпозиумов, посвященных решению этих возникающих проблем. Здесь уместна аналогия с ситуацией конца 40-х – начала 50-х годов XX века. В это время в связи с необходимостью решения, в первую очередь оборонных задач, моделированием атомного и ракетного оружия, появлением первых ЭВМ, в СССР и США независимо друг от друга в течение нескольких лет были заложены основы современной вычислительной математики и создано новое направление – программирование.

В последующие десятилетия происходили эволюционные изменения идей, заложенных в середине XX века. Появление параллельных вычислительных систем в середине 80-х годов с относительно небольшим числом процессоров привело к лишь относительно небольшим изменениям в инструментарии (вставки, позволяющие осуществлять параллельное программирование на языках Fortran и C+, тенденции к построению алгоритмов, допускающим уменьшенный обмен информации между процессорами). Однако в настоящее время бурный рост производительности вычислительных систем, с числом ядер, превышающим десятки миллионов, требует появления новых подходов, позволяющих эффективно использовать возможности современных суперкомпьютеров. Ученые России, и в первую очередь, составляющие академическое и университетское сообщество, имеют все возможности достойно ответить на этот вызов.

4. Необходимые мероприятия по развитию суперкомпьютерных технологий в России

Одной из важнейших составляющих успешного развития суперкомпьютерных технологий является поддержка со стороны властных структур. В настоящее время со стороны Федеральных органов исполнительной власти имеется понимание важности развития этого направления, которое, к сожалению, пока не подкрепляется адекватным финансированием.

Необходимо создать порядка трех вычислительных центров федерального уровня с производительностью не менее 10 PFLOPS. Причем уровень в 10 PFLOPS характерен лишь для горизонта 2-3 года. В дальнейшем необходимо предусмотреть увеличение производительности этих центров в соответствии с мировыми тенденциями.

Центры федерального уровня должны являться частью общей структуры, в которую должны входить региональные центры с производительностью 3-5 PFLOPS. Также, как и для федеральных центров, необходимо запланировать последующий рост их производительности согласно мировым тенденциям. Выбор организаций, на базе которых будет происходить создание таких центров, следует производить только на конкурентной основе, учитывая возможность их коллективов по решению больших задач на системах сверхвысокой производительности. В противном случае велика вероятность того, что освоение этих систем затянется на несколько лет, составляющих период их морального устаревания, и финансовые средства будут затрачены зря. Учитывая компетенции специалистов институтов, находящихся под научно-методическим руководством РАН, на базе одного из них, следует создать вычислительный центр с производительностью порядка 10 PFLOPS. Этот межведомственный центр должен выполнять функции полигона, на котором апробируются новые алгоритмы и программные средства. Новый инструментарий должен проходить испытания на примере решения больших пилотных задач. В дальнейшем разработанные суперкомпьютерные технологии должны широко использоваться в работе других, в том числе и более производительных центров. Плодотворность подобного подхода подтверждается многолетней практикой, когда создаваемая на базе одного из институтов РАН экспериментальная установка, служила источником необходимой информации для новых направлений науки и отраслей промышленности.

Создание высокопроизводительной вычислительной техники невозможно без наличия современной элементной базы. Необходимо обратить самое пристальное внимание на важность развития технологий и промышленного производства этих компонент вычислительной техники.

Оснащение федеральных и региональных центров высокопроизводительной техникой, развитие отечественной элементной базы, требует больших финансовых затрат. Однако они необходимы, ибо недостаточное внимание к развитию данной отрасли может послужить серьезным тормозом в развитии страны в последующие 10-15 лет. В каком-то смысле аналогом здесь может служить создание в послевоенные годы атомной промышленности в СССР. В разоренной войной стране огромным напряжением сил для этого были изысканы соответствующие средства. Плодами этого решения в плане безопасности и технологий мы пользуемся до сих пор.

Разработка алгоритмов и математического обеспечения для систем сверхвысокой производительности является ключевым элементом для будущего развития суперкомпьютерных технологий. Помимо уже упомянутого выше центра, находящегося под научно-методическим руководством РАН, необходимо создать межведомственную программу, нацеленную на создание этого инструментария и решения с его помощью пилотных задач. Существующая в настоящее время программа президиума РАН «Алгоритмы и прикладное математическое обеспечение. Решение пилотных задач», несмотря на недостаточное финансирование уже доказала свою плодотворность. В рамках данной программы могут быть рассмотрены вопросы, связанные с созданием инструментария не только для доминирующих в настоящее время архитектур вычислительных систем. К таким новым направлениям, в первую очередь, следует отнести проблемы использования квантовых компьютеров. Исследования помимо разработки соответствующих алгоритмов должны определить направления эффективного использования квантовых вычислений.

Разработанные алгоритмы и математическое обеспечение должны стать основой для коммерческого высокопроизводительного программного продукта. Его производством при правильной организации взаимодействия с научным сообществом

должны заниматься отечественные ИТ компании. В настоящее время, несмотря на большой потребительский потенциал, предложение на рынке программного продукта сверхвысокой производительности практически отсутствует. Россия имеет все шансы занять заметную нишу в этой перспективной части рынка ИТ технологий.

Разработанные на базе центра новые алгоритмы и программное обеспечение для систем сверхвысокой производительности с учетом особенностей архитектуры, должны послужить основой создания новых учебных курсов. К созданию этих курсов, учитывая положительный опыт МГУ им. М.В. Ломоносова в подготовке кадров для работы на системах высокой производительности, необходимо привлечь специалистов ведущих вузов страны. Естественно, что создание подобных курсов и стандартов, рассчитанных на разные уровни подготовки, не может быть осуществлено без постоянного внимания и поддержки со стороны Минобрнауки России.

Заключение

Уровень суперкомпьютерных технологий, их активного использования, является важнейшим инструментом развития практически во всех направлениях, определяющих технологическое, научное, социальное положение страны, ее безопасность. Россия имеет хорошие позиции в области фундаментальных исследований по технологиям использования вычислительных систем сверхвысокой производительности, которые в ближайшее время станут определять уровень вычислительной техники. Отставание в области вычислительной техники можно преодолеть с помощью соответствующих финансовых вложений. На эти немалые затраты необходимо пойти. Они будут не напрасны, учитывая роль суперкомпьютерных технологий в будущем развитии страны.

Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю признательность за подготовку данной статьи А.А. Кулешову, Т.А. Кудряшовой и А.В. Савельеву.

Литература

1. <https://www.olcf.ornl.gov/olcf-resources/compute-systems/summit/>
2. https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-64_en.htm
3. Фриш У. Турбулентность. Наследие А.Н. Колмогорова. М.: Фазис, 1998, 346 с.
4. Chetverushkin B., D'Ascenzo N., Ishanov S., Saveliev V. *Matem. Mod.*, 29:3 (2017), Hyperbolic type explicit kinetic scheme of magneto gas dynamics for high performance computing systems J: Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, V.30, №1, pp. 27-36.
5. Четверушкин Б.Н., Д'Асчензо Н., Савельев В.И. Об одном алгоритме решения параболических и эллиптических уравнений. // Вычислительная математика и математическая физика, 2015, том 55, № 8, с. 1320-1328.
6. Балашов В.А., Савенков Е.Б. Многомасштабная квазигидродинамическая модель для описания течений многофазной жидкости с учетом межфазного взаимодействия. // Прикладная механика и техническая физика. 2018, т.59, №3, с. 57-68.
7. Балашов В.А., Савенков Е.Б. Применение квазигидродинамической системы уравнений для прямого моделирования течений в образцах ядра // Доклады Академии Наук. 2016. Т. 467, № 5, с. 534-536.
8. Велихов В.Е., Климентов А.А., Машинистов Р.Ю., Пойда А.А., Рябинкин Е.А. Интеграция гетерогенных вычислительных мощностей НИЦ «Курчатовский институт» для проведения масштабных научных вычислений. Известия ЮФУ. Технические науки, 2016, №11, с. 88-100.
9. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. Моделирование социальных процессов на суперкомпьютерах: новые технологии. Вестник РАН. 2018, т. 88, №6, с. 508-518.



**ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИЧЕСКИХ
НАУК**



Ю.Ю. Балега¹, Б.М. Шустов²
Состояние и перспективы российской астрономии

Уровень развития страны в значительной мере определяется ее научным потенциалом, а он зависит от развития фундаментальной науки. Астрономия – одна из фундаментальных наук, и поэтому она – хороший индикатор общего развития страны.

В России астрономия имеет славные традиции. В XIX веке у нас даже была «астрономическая столица мира». Во времена СССР БТА, или «Большой телескоп азимутальный», с зеркалом диаметром 6 метров лидировал среди наземных оптических телескопов, а космический ультрафиолетовый телескоп «Спика» с зеркалом диаметром 80 сантиметров был крупнейшим в космосе. Но мир меняется, и планировать будущее нужно, оценив текущее состояние и наметив наиболее перспективные и реализуемые пути развития. На данный момент состояние российской астрономии нельзя назвать удовлетворительным. Особенно остро это чувствуется в наземной астрономии. Как и многие другие фундаментальные исследования, астрономия нуждается в поддержке государства. Кроме государственных источников в развитых странах есть довольно существенное дополнительное финансирование с стороны бизнеса. Хороший пример – два 10-м телескопа Кека на Гавайях, построенных при очень серьезном финансовом вливании со стороны мецената У.М. Кека. Российские меценаты как-то уж очень скромничают. В общем, в течение нескольких десятков лет поддержка астрономических исследований была явно недостаточной, и лишь в последнее время ситуация, кажется, начинает понемногу меняться.

Астрономические исследования ведутся в России в 34-х научных учреждениях:

- Шесть специализированных астрономических научных учреждений РАН (САО, ГАО, ИНАСАН, ИПА, КраО, УАФО ДВО РАН);
- Более десяти научных учреждений РАН, имеющих подразделения астрономического направления (ИКИ, ФИАН, ФТИ, ИПФ, ИЗМИРАН, ИЯИ, ИПМ, ИТЭФ, ИСЗФ СО РАН, ИКФИА СО РАН, ...);
- Астрономические исследовательские структуры и специализированные кафедры в ВУЗах (ГАИШ МГУ, СПбГУ, УрФУ, КГУ, ЮФУ, ТГУ, ВолГУ, ИГУ, СтавГУ, МФТИ, МИФИ и др.).

Есть координирующие структуры. При ОФН РАН по астрономической тематике работают 3 научных совета («Астрономия», «Солнечно-земная физика», «Космические лучи») и один (общий) экспертный совет «Астрономия, астрофизика и космические исследования». Ряд секций Совета РАН по космосу работает по тематике «Внеатмосферная астрономия» и смежным направлениям.

Общая численность исследователей-астрономов в стране – примерно 1400 чел., из них около 20% – доктора наук, 35% – кандидаты. Еще примерно 1000 физиков, математиков, а в последние годы – биологов, химиков, геологов, специалистов в информатике занимаются исследованиями, смежными с астрономическими. 437 астрономов являются членами Международного астрономического союза (МАС), т.е. примерно 3 члена МАС на один миллион населения. В развитых странах этот показатель выше – 7 членов МАС на миллион населения. Показатель научной продуктивности российских астрономов – членов Международного МАС, определяемый как количество публикаций человека в рецензируемых изданиях в год

¹ Вице-президент РАН, Научный руководитель Специальной астрофизической обсерватории РАН, академик РАН

² Научный руководитель Института астрономии РАН, член-корреспондент РАН

совсем неплох: в России – 2,3, в США – 2,3, Германии – 3,9, Китае – 2,0, Японии – 1,6. Однако средний, то есть по всему астрономическому сообществу страны уровень публикационной продуктивности не столь высок – менее одной статьи в год. Важный показатель – цитируемость научных работ российских астрономов. Среднее количество ссылок на работы российских членов МАС – 0,8 в год. Средний показатель для работ авторов из США, Германии, Англии – 2,1, Японии – 1,7, Китая – 0,8.

Общий годовой бюджет российской астрономии в последнее время примерно равен 2,2 млрд. руб. (т.н. базовое финансирование), то есть на одного исследователя-астронома в год приходится около 1,6 млн. руб. – существенно больше, чем в предыдущие три десятилетия, но намного меньше, чем, например, в США. Эта диспропорция обусловлена не столько разницей в зарплатах (в несколько раз), сколько разницей в затратах на технологии и обеспечение исследований.

Из 34 астрономических исследовательских структур России 27 имеют собственную инфраструктуру для проведения наземных астрономических наблюдений. Это оптические телескопы, радиотелескопы, полигоны, специальные аппаратные комплексы и др. 11 объектов имеют статус «Уникальная научная установка», часть из них – Центры коллективного пользования. Числа вроде бы солидные, но в последние нескольких десятков лет в России развитие наблюдательных средств астрономии почти не происходило. Последнее крупное вложение было сделано в 70-е годы прошлого века: были построены уже упоминавшийся БТА (рис. 1) и кольцевой радиотелескоп РАТАН-600 диаметром 600 м. Сегодня БТА замыкает вторую десятку работающих в мире инструментов. Недавно была проведена реставрация главного зеркала телескопа, пока о качестве выполненных работ говорить рано.

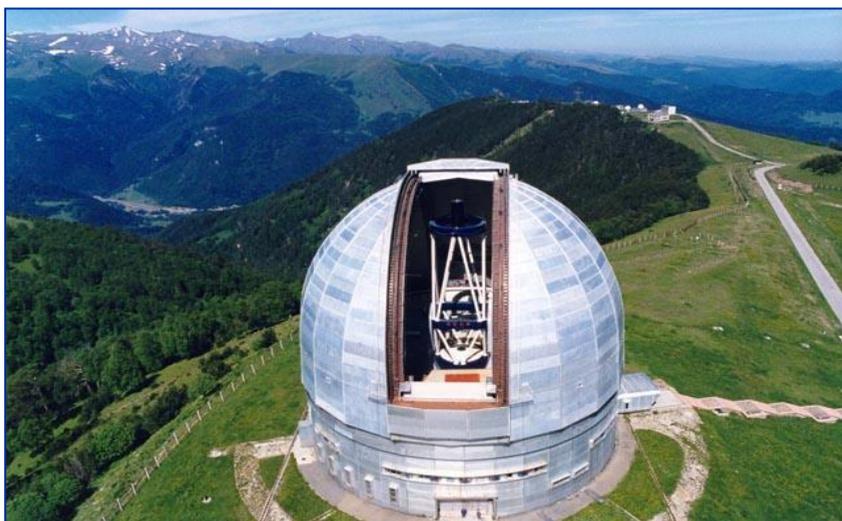


Рис. 1. Телескоп БТА. По площади зеркала занимает 18-е место в мире (в 70-е годы XX-го века был лидером).

Главный центр коллективного пользования в российской астрономии.

В ряду оптических телескопов с апертурой крупнее 2 метров кроме БТА работают 2,6-метровый телескоп Крымской астрофизической обсерватории РАН, 2,5-метровый телескоп Кисловодской обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова и 2-метровый

телескоп совместной российско-украинской обсерватории на пике Терскол. Общая площадь зеркал российских телескопов составляет около 42 кв. м или 3% от площади зеркал оптических телескопов в мире. Еще есть две сети малоапертурных (50 см) телескопов: роботизированная сеть «Мастер» (ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова), основная задача которой – наблюдения транзиентов (источников гамма-всплесков), и сеть ISON (ИПМ РАН), основная задача которой – работа в качестве привлеченного (Роскосмосом) средства по контролю околоземного космического пространства в зоне геостационарной орбиты. Обе сети эпизодически используются также для наблюдения малых тел Солнечной системы.

Аналогичная картина с наземными российскими радиотелескопами, предназначенными для астрономических исследований. РАТАН-600, РТ-22 и другие инструменты в состоянии выполнять отдельные задачи, но не являются участниками исследований «переднего края». Созданный в последние два десятилетия радиоинтерферометрический комплекс КВАЗАР используется, главным образом, для координатно-временного обеспечения страны. В стране нет ни одного современного радиотелескопа миллиметрового диапазона, тем более интерферометра миллиметрового диапазона, а это сейчас основные средства наблюдательной астрономии.

Но есть хорошие новости последнего времени. Запущен 2,5-метровый оптический телескоп в Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова. Он будет важным средством для подготовки научных кадров, однако его наблюдательные возможности весьма скромны. Начато создание Сибирского гелиогеофизического комплекса. В частности, проектируется гигантский по современным критериям 3-м солнечный телескоп для обсерватории в Мондах. В ИСЗФ СО РАН появился первый крупный (1,6-метровый) российский обзорный оптический телескоп АЗТ-33 ВМ (рис. 2), по параметрам сравнимый со знаменитым обзорным телескопом PanSTARRS (США). Но телескоп АЗТ-33 ВМ работает с эффективностью лишь 5%, нет денег на полную сборку (мозаику) детекторов и в большой фокальной плоскости стоит лишь один ПЗС детектор. Наконец, подписано соглашение о сотрудничестве между Россией и Узбекистаном, в списке совместных проектов – завершение строительства обсерватории миллиметрового диапазона в Суффе, с диаметром антенны 70 м, или, как вариант, более скромного, телескопа диаметром 30 м. Успешно развиваются Баксанская нейтринная и Байкальская нейтринная обсерватории ИЯИ РАН.



Рис.2. Телескоп АЗТ-33ВМ

По инициативе и при участии РАН, Научно-координационного совета при ФАНО России, Министерства образования и науки, Управления Президента по научно-образовательной политике была сформирована межведомственная рабочая группа

(МРГ) экспертов по астрономии. Члены МРГ – эксперты в различных областях наблюдательной астрономии и астрофизики, работающие как в институтах РАН, так и в ведущих университетах. Большинство из них – члены тематических Советов РАН по астрономии и/или космосу. Группе было поручено провести разработку целостной Программы развития наземной экспериментальной базы астрономии и астрофизики в России, в которой приоритеты участия России в крупных зарубежных астрономических проектах были бы логистически и финансово согласованы с планами развития наземной астрономической инфраструктуры на территории РФ. В работе группы, в частности в разработке программы развития в рамках открытого конкурсного подхода, активно участвовало астрономическое научное сообщество. Важной частью работы было проведение всеобъемлющего аудита существующих наземных астрономических средств в РФ и рассмотрение вопроса подготовки кадров. МРГ работала в течение 2015-2016 гг.

Осенью 2018 г. экспертный совет РАН при ОФН РАН по направлению «Астрономия, астрофизика, космические исследования» провел экспертизу проектов класса «мегасайенс». Результаты экспертизы в основном подтвердили выводы МРГ.

- Межведомственная группа собрала и рассмотрела 18 проектов, присланные со всей России. Были представлены проекты двух типов – фундаментальные проекты и проекты, имеющие как фундаментальную, так и выраженную прикладную направленность. Фундаментальные проекты были разделены при рассмотрении на три группы.

- **Международные мега-проекты** – доля финансового участия России составляет менее 50% полной стоимости, но сумма участия более 1 млрд. руб. в год. В этом разделе первый приоритет у проекта «Участие России в Европейской Южной Обсерватории (ЕЮО/ESO)», второй – у проекта «Участие России в проекте радиотелескопа размером квадратный километр (SKA)».

- **Российские мега-проекты** – доля участия России в них более 50% от полной стоимости, при этом сумма участия более 1 млрд. руб. в год. Здесь первый приоритет у проекта 4-м оптического телескопа с широким полем зрения для постановки в Северном полушарии, второй – у проекта завершения строительства 70-м радиотелескопа на плато Суффа.

- **Российские проекты среднего уровня** – доля России более 50% от полной стоимости, при этом сумма участия менее 1 млрд в год. Первый приоритет у проекта нейтринного телескопа «Байкал», второй – у проекта длинноволнового радиотелескопа широкого поля зрения.

Три проекта, имеющие прикладную направленность, рекомендованы для софинансирования при условии основного финансирования со стороны заинтересованных министерств и ведомств. Это:

- Создание Российской службы Солнца.
- Создание научной наземной астрономической инфраструктуры для наземного сегмента Российской системы предупреждения и противодействия космическим угрозам.
- Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение России.

Теперь обратимся к внеатмосферной астрономии в России. Суть астрономического бума, отмечаемого сейчас, состоит не только в появлении мощных инструментов, но и в том, что увеличился список важнейших астрономических проблем, решение которых видится возможным в относительно близкой перспективе. Вот лишь несколько таких проблем: природа темного вещества, происхождение галактик, происхождение космических лучей сверхвысоких энергий, экзопланеты и экзокометы,

механизм солнечных циклов и сбоев «космической погоды», происхождение и эволюция Солнечной системы, астрономические аспекты проблемы происхождения и сохранения жизни.

Решение этих и многих других проблем возможно только при мультиволновом (мультиканальном) подходе к получению наблюдательных данных. Мультиканальный подход неизбежно означает привлечение наблюдательных средств космического базирования.

Сейчас в космосе на астрономов работает несколько российских аппаратов (рис. 3). Международная обсерватория (с существенным российским вкладом) «ИНТЕГРАЛ», запущенная еще в 2002 году для изучения галактических и внегалактических объектов в жестком рентгеновском и гамма-диапазоне (энергия квантов 3 кэВ – 10 МэВ) продолжает успешно работать. Два аппарата для изучения космических лучей – российско-итальянский инструмент «Памела» (год запуска 2006) ежедневно передает около 15 Гб данных. Успешно работает инструмент «Нуклон» (2014). Обсерватория «Ломоносов» (2016) научно-образовательный проект, его цели – изучение космических лучей сверхвысоких энергий, изучение переходных явлений в верхних слоях атмосферы Земли, одновременное изучение гамма-всплесков с помощью оптических камер и гамма-детекторов, наблюдения объектов в оптическом диапазоне в ближнем космосе. Сейчас обсерватория уже практически не работает, но все-таки она стала важным шагом на пути развития космических исследований силами университетов.

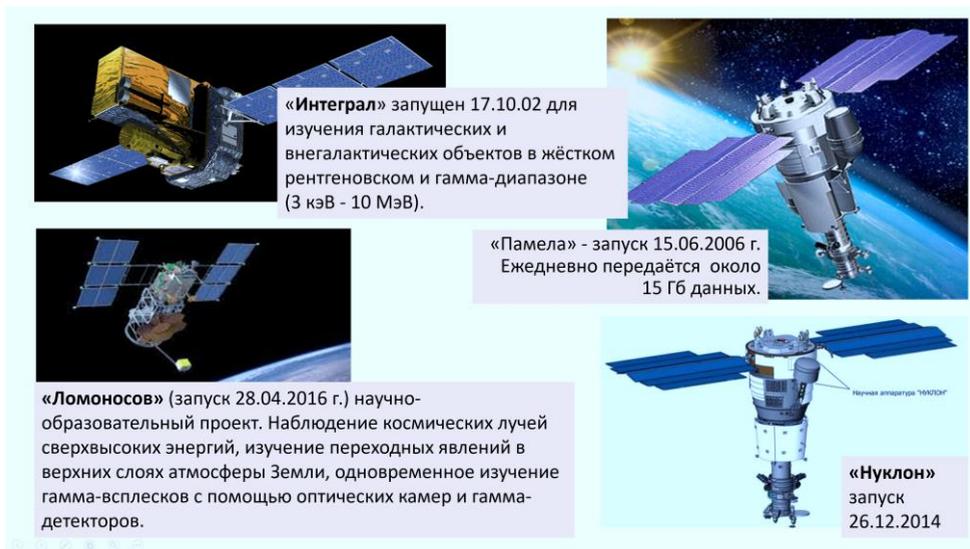


Рис.3. Действующие российские астрономические средства в космосе

Далее, нужно отметить обсерваторию «Спектр-Р» (2011) или «Радиоастрон» – самый успешный отечественный проект последнего десятилетия в области внеатмосферной астрономии. Основной инструмент интерферометра – радиотелескоп диаметром 10 метров, рабочие частоты 0,3; 1,7; 4,8; 18-25 ГГц. Уникально велика база интерферометра Земля-космос – до 350 тысяч км. В кооперации работают 29 наземных радиотелескопов. За 7 лет работы было проведено около 4 тысяч наблюдений различных объектов. Получена информация о структуре

далеких космических объектов с уникальным угловым разрешением – в самом высокочастотном диапазоне это 8 микросекунд дуги. Под таким углом видна точка на этом листе, когда его читать с Сахалина. С этим фантастическим разрешением исследованы ядра активных галактик. Также исследованы пульсары, космические мазеры OH (на длине волны 18 см) и H₂O (на длине волны 1,35 см) в областях образования звезд в нашей Галактике, мегамазеры около сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик NGC3079 и NGC4258.

В ближайшей перспективе (в апреле 2019 г.) – запуск рентгеновской обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» или «Спектр-РГ». На рис. 4 показан космический аппарат «Спектр-РГ». Главная задача обсерватории – изучение крупномасштабной структуры Вселенной на основе «инвентаризации» примерно 100 тысяч скоплений галактик (то есть практически всех крупнейших самогравитирующих структур), а также изучение роста и космологической эволюции сверхмассивных черных дыр во Вселенной на основе наблюдений более 3 млн активных галактических ядер.



Рис. 4. Космический аппарат «Спектр-РГ» в НПО им. С.А. Лавочкина

Далее планируется запуск обсерватории «Спектр-УФ» (не ранее 2024 г.), предназначенной для изучения эволюции Вселенной, то есть истории реионизации, поиска скрытых барионов, изучения физики аккреции на компактные объекты (черные дыры, нейтронные звезды, белые карлики), образования и ранней эволюции звезд и протопланетных дисков, а также атмосфер экзопланет. Есть еще несколько проектов, но они вынесены за пределы Федеральной космической программы 2016-2025 гг.

В последнее время обозначилась проблема внеатмосферной астрономии — сильное (в два раза!) сокращение финансирования научных проектов в Федеральной космической программе на 2020-2021 гг. Объяснения у Роскосмоса, конечно, есть, но главное, по-видимому, заключается в том, что приоритет фундаментальных космических исследований в нашей стране, увы, невысок.

Итак, астрономия в России есть, она переживает общие для отечественной науки и страны в целом проблемы, в ряде направлений астрономических технологий есть существенное отставание от мирового уровня, и это во многом определяет уровень развития российской астрономии. В последнее время делаются некоторые шаги к улучшению ситуации в наземной астрономии.

Посмотрим, каковы будут результаты...

И.Г. Митрофанов¹, А.В. Малахов¹, Д.В. Головин¹, М.Л. Литвак¹, А.Б. Санин¹, М.И. Мокроусов¹

Нейтронное картографирование Марса с высоким пространственным разрешением: первые результаты эксперимента ФРЕНД проекта «Экзомарс»

На основе обработки первых данных картографирования нейтронного излучения Марса нейтронным телескопом ФРЕНД (Fine Resolution Epithermal Neutron Detector, [1]) с борта Европейского орбитального аппарата ТГО (Trace Gas Orbiter, [2]) установлено, что на фоне известных ранее глобальных областей с высоким содержанием воды в приповерхностном слое наблюдаются локальные районы повышенной или пониженной массовой долей воды, характерный масштаб которых составляет около нескольких сотен километров. Сопоставление этих районов с геоморфологической картой поверхности Марса позволяет сделать выводы о процессах эволюции природной среды планеты и также о происхождении воды в верхних слоях ее поверхности.

1. Введение

Установлено [3, 4], что измерения нейтронного излучения с поверхности планеты Марс предоставляют возможность обнаружения и измерения количества воды в верхнем слое поверхности с толщиной около 1 метра. Нейтроны с энергиями порядка нескольких десятков МэВ возникают в веществе небесного тела без атмосферы или с тонкой атмосферой вследствие бомбардировки поверхности энергичными частицами галактических космических лучей (ГКЛ). Поток и распределение по энергиям излучаемых нейтронов зависят от концентрации атомов водорода. Это связано с тем, что в процессе столкновений с ядрами вещества нейтроны замедляются и частично термализуются, причем при столкновении с ядром водорода (то есть с протоном) потери энергии оказываются сопоставимыми с энергией нейтрона до столкновения. Поэтому при увеличении концентрации водорода в веществе выходящий с поверхности поток надтепловых (эпитепловых) нейтронов уменьшается, а тепловых – увеличивается (при этом условие сохранения частиц не выполняется так как появляется дополнительный процесс захвата тепловых нейтронов протонами с образованием дейтронов).

Поскольку основным водородосодержащим соединением в марсианском веществе является вода, оценка концентрации ядер водорода позволяет определить массовую долю воды. Результаты численных расчетов показали, что зависимость потока эпитепловых нейтронов от присутствия в веществе воды является достаточно сильной (рис. 1). Так, при увеличении массовой доли воды в марсианском реголите от 1 до 10 процентов по массе, поток эпитепловых нейтронов с поверхности планеты уменьшается в 3 раза.

Первые карты распространенности воды в веществе приповерхностного слоя Марса были получены в 2002 году одновременно в российском эксперименте ХЕНД и американском эксперименте MONS на борту марсианского спутника НАСА “Марс Одиссей” [4, 5]. Оба прибора имеют всенаправленные детекторы нейтронов, и поэтому их пространственное разрешение вариаций нейтронного потока определяется высотой орбиты 400 км и составляет около 600 км [6]. Этого разрешения оказалось достаточно для обнаружения огромных приполярных областей вечной мерзлоты на широтах выше 60° на севере и на юге и также двух протяженных района повышенного содержания воды вокруг областей Arabia и Memnonia. Однако такого разрешения недостаточно для

¹ Институт космических исследований РАН

изучения распределения воды на масштабах порядка нескольких сотен километров, соответствующих геоморфологическим и рельефным структурам марсианской поверхности. Можно сравнить эти карты распространенности воды со сглаженным изображением земных океанов, на котором не видны моря и заливы.

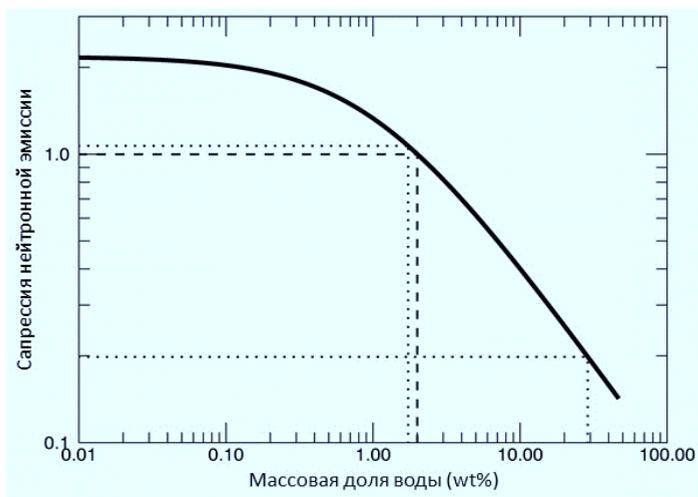


Рис. 1. Относительная зависимость эмиссии тепловых нейтронов от содержания воды в грунте, численно смоделированная для стандартного марсианского грунта. Исходный темп счета 1 отсчет в секунду выбран для обозначения 2% массовой доли водорода (показано штрих линией). Линии точек показывают минимальный и максимальный измеренный темп счета.

Эта калибровка применена на карте ФРЕНД на рис. 3.

Приборы ХЕНД и MONS продолжают успешно работать на околомарсианской орбите уже более 16 лет, однако всенаправленный характер их измерений в принципе не позволяет повысить пространственное разрешение. В 2018 году американские участники эксперимента MONS предприняли попытку искусственно повысить пространственное разрешение полученной ими карты на основе метода PIXON, который обычно используется при обработке изображений с низким разрешением для его значительного повышения [7]. Однако известно, что улучшение качества изображений, полученных с низким разрешением, методом PIXON является модельно-зависимой процедурой и не обеспечивает условие «единственности решения». Только прямое измерение с потока нейтронов с высоким разрешением позволяет при накоплении необходимой статистики отсчетов получить достоверное изображение пространственных вариаций этого потока и оценить их статистическую погрешность.

2. Эксперимент с коллимированным нейтронным телескопом ФРЕНД на борту марсианского спутника ЕКА «ТГО»

Следующим шагом после проекта «Марс Одиссей» для изучения распространенности воды под поверхностью Марса стал российско-европейский проект «ЭкзоМарс 2016», в ходе которого на околомарсианскую орбиту был выведен спутник «ТГО» [2]. Измерения нейтронного потока от Марса проводятся с борта «ТГО» российским нейтронным телескопом ФРЕНД, разработанным в Институте космических исследований Российской академии наук [1]. Физическая концепция этого прибора основана на более ранней разработке прибора ЛЕНД, который был

создан для картографирования нейтронного излучения Луны с борта лунного аппарата НАСА «ЛРО» [8]. За продолжительный период наблюдений с 2008 года по настоящее время данные измерений этого прибора позволили построить карту распространения водяного льда в полярных районах Луны с пространственным разрешением около 10 км [9]. Кроме нейтронного телескопа в состав аппаратуры ФРЕНД также входит дозиметр «Люлин» для регистрации заряженных частиц галактических космических лучей и солнечных протонных событий и для оценки эквивалентной радиационной дозы в межпланетном пространстве и на орбите вокруг Марса [10]. Данные дозиметра также используются для обработки данных измерений нейтронного потока от Марса с целью исключения эффекта его вариаций вследствие переменности галактических лучей.

Прибор ФРЕНД представляет собой нейтронный телескоп с ограниченным полем зрения, которое обеспечивает коллиматор налетающего потока нейтронов (табл. 1).

Таблица 1

Параметры нейтронного телескопа ФРЕНД

Параметр	Значение
Полная масса прибора (кг)	35
Полная потребляемая мощность (Вт)	11.4
Энергетические диапазоны измерения эпитепловых и быстрых нейтронов	0.4 эВ – 10 МэВ
Энергетические диапазоны измерения заряженных частиц	100 кэВ – 80 МэВ
Угловое разрешение нейтронного телескопа для эпитепловых нейтронов (FWHM, градусы)	14

Прибор имеет 4 одинаковых детектора эпитепловых нейтронов на основе пропорциональных счетчиков ^3He и детектор быстрых нейтронов из стилибена, поля зрения которых ограничены стенками коллиматора. Стенки коллиматора с внешней стороны имеют слой полиэтилена с толщиной около 2 см. В полиэтилене происходит замедление потока налетающих нейтронов вплоть до тепловых энергий. Внутренний слой стенок со стороны детекторов содержит изотоп бора ^{10}B , который имеет очень высокое сечение поглощения тепловых и эпитепловых нейтронов. В этом слое происходит поглощение замедлившихся нейтронов, и благодаря этому обеспечивается эффект коллимации для нейтронов из направлений вне поля зрения. Геометрический размер поля зрения определяется углом раскрытия коллиматора и определяется соотношением его геометрических размеров.

Для коллиматора ФРЕНДа геометрический полный угол раскрытия составляет 16° . Численные расчеты и наземные калибровки прибора позволили измерить функцию угловой чувствительности прибора [1]. Ее полная ширина на полувысоте (FWHM) составляет около 14° , что хорошо согласуется с геометрической оценкой. При регистрации потока нейтрона от поверхности Марса с орбиты ТГО высотой 400 км ширина функции угловой чувствительности соответствует диаметру поля зрения на поверхности около 100 км [1]. Эта величина определяет «физическое» пространственное разрешение прибора, которое может быть достигнуто при достаточной статистической обеспеченности измерений. Очевидно, что при построении карты нейтронного потока элементарные участки поверхности (пиксели) должны иметь размер, сопоставимый с указанной величиной. Однако следует учитывать, что изучение пространственной переменности нейтронного излучения должно быть основано на сопоставлении измеренных потоков нейтронов для разных пикселей. Поэтому для достоверной регистрации относительного различия потоков в двух разных пикселях на уровне $\delta\%$ необходимо, чтобы относительная статистическая погрешность разницы их потоков была меньше, чем $1/3 \delta\%$ (условие 3 сигма). Отсюда

вытекает, что фактическая разрешающая способность телескопа для измерения пространственной переменности потока зависит от соотношения величины переменности и статистической обеспеченности измерений. Поэтому при проведении нейтронного картографирования следует пользоваться понятием «статистически обеспеченного» пространственного разрешения. Отсюда следует два важных вывода:

1) При заданной статистике отсчетов: чем больше относительная переменность потока, тем более высокое пространственное разрешение может быть достигнуто при картографировании.

2) При заданной величине относительной переменности: чем больше статистика отсчетов, тем выше пространственное разрешение, с которым эта переменность может быть обнаружена.

Очевидно, что во всех случаях пространственное разрешение прибора не может превышать величину его «физического разрешения».

3. Результаты измерений

Ниже представлены первые результаты картографирования нейтронного излучения Марса прибором ФРЕНД в сезонный период марсианского года с $L_s = 170^\circ - 247^\circ$, который соответствует интервалу времени от 3 мая до 10 сентября 2018 г. Этот период составляет всего около 14% от полного времени нейтронного картографирования, запланированного для миссии ТГО [2]. Однако обработка данных измерений для этого начального периода показала, что благодаря своему высокому пространственному разрешению прибор ФРЕНД позволяет обнаружить локальные районы с размерами <300 км, для которых концентрация воды существенно отличается от значений предшествующих измерений всенаправленными детекторами.

Для картографирования исходных данных были выбраны элементарные участки на поверхности (пиксели) с размером $5^\circ \times 5^\circ$ (эквивалентный масштаб на экваторе соответствует 300×300 км). Во время орбитального картографирования в каждом пикселе накапливаются отсчеты регистрации эпитепловых нейтронов и время пролета аппарата над ним (время экспозиции). Полное число отсчетов включает как измерения нейтронов от марсианской поверхности (отсчеты *сигнала*), так и отсчеты от нейтронов, которые возникли в веществе космического аппарата под воздействием частиц ГКЛ (отсчеты *фона*).

На рис. 2а представлена первая карта излучения эпитепловых нейтронов по данным начального этапа измерений телескопа ФРЕНД. На рис. 2б также представлена карта излучения эпитепловых нейтронов, полученная на основе данных прибора ХЕНД за этот же период наблюдений. Для обеих карт используется одинаковая отнормированная шкала темпа счета, что позволяет выполнить их детальное сравнение и найти локальные районы пространственной переменности, обнаруженные на фоне карты прибора ХЕНД благодаря более высокому пространственному разрешению телескопа ФРЕНД.

Вклад отсчетов фона был оценен на основе летных калибровок прибора на этапе межпланетного перелета. До построения карты нейтронного излучения измеренные отсчеты корректировались с учетом переменности эффективности детекторов прибора и также для исключения эффекта переменности ГКЛ на основе данных измерений дозиметра «Люлин».

Для нормировки шкалы представленных карт применялись две процедуры. Во-первых, была проведена относительная кросс-нормировка темпов счета приборов ФРЕНД и ХЕНД, учитывающая различие в эффективности этих двух приборов. Для этого были построены усредненные широтные профили пространственной переменности нейтронного излучения и определен коэффициент относительной

нормировки отсчетов прибора ХЕНД, который позволяет совместить эти два профиля в пределах широтного пояса от 40° ю.ш. до 40° с.ш. (рис. 2). За пределами этого широтного пояса поток нейтронного излучения испытывает сезонные вариации, которые два прибора могут регистрировать по-разному вследствие различного пространственного разрешения. Удовлетворительное совпадение двух профилей в пределах указанного широтного пояса подтверждает, что крупномасштабная переменность нейтронного потока от Марса обоими приборами наблюдается одинаково.

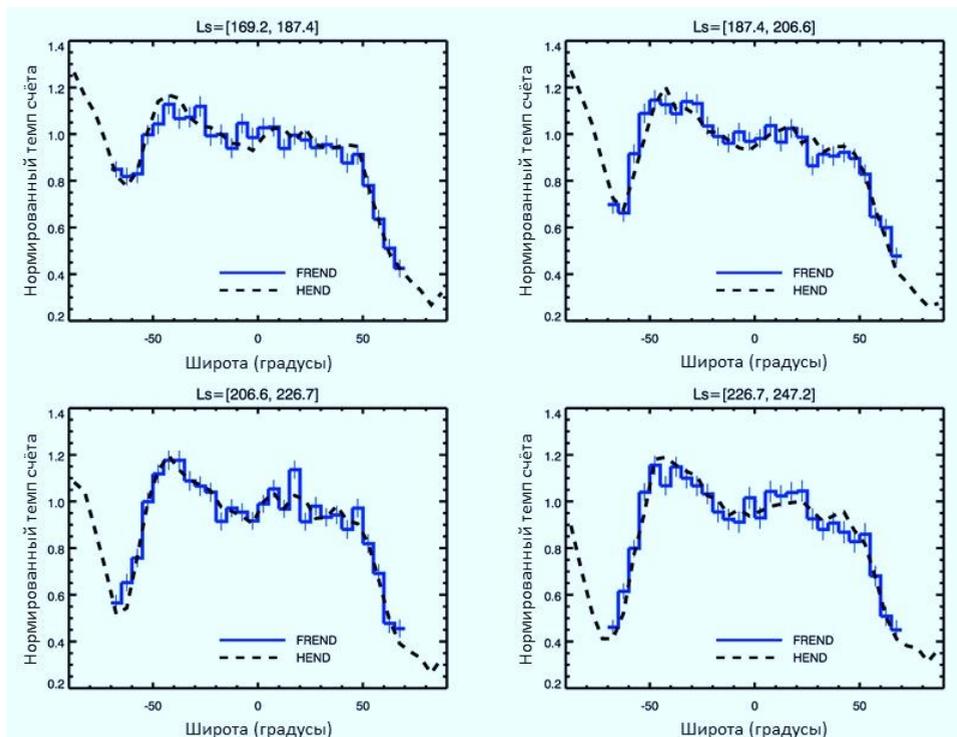


Рис. 2. Широтные профили темпов счета эпитепловых нейтронов ФРЕНД и ХЕНД, усредненные по широтам (сплошные и пунктирные линии, соответственно).

Применена кросс-нормировка для получения единых усредненных значений на сезонно-независимом широтном поясе 40° ю.ш. - 40° с.ш. Четыре последовательных интервала L_s [170° - 187°], [187° - 207°], [207° - 227°] и [227° - 247°] показывают переменность нейтронной эмиссии вне этого широтного пояса, связанную с появлением сезонной углекислой снежной шапки в осенний период в северном полушарии и исчезновение аналогичной шапки в весенний период в южном полушарии [19].

Во-вторых, была проведена абсолютная нормировка шкалы отсчетов. По данным измерений потока нейтронов и гамма-лучей приборами ХЕНД, MONS и GRS проекта Марс Одиссей было установлено, что наиболее вероятное содержание воды в области Solis Planum составляет около 2% по массе [6]. Исходя из этого факта, темп счета нейтронов для области Solis Planum с координатами 115° - 65° з.д. и 55° - 15° ю.ш. был отнормирован на 1. Благодаря абсолютной нормировке шкалы отсчетов стало возможно определить массовую долю воды в веществе поверхности на основе известного закона относительной переменности потока эпитепловых нейтронов

в зависимости от массовой доли воды (рис. 1). Соответственно, на рис. 2 цветовая шкала относительной переменности темпа счета нейтронов сопровождается оценкой массовой доли воды в веществе.

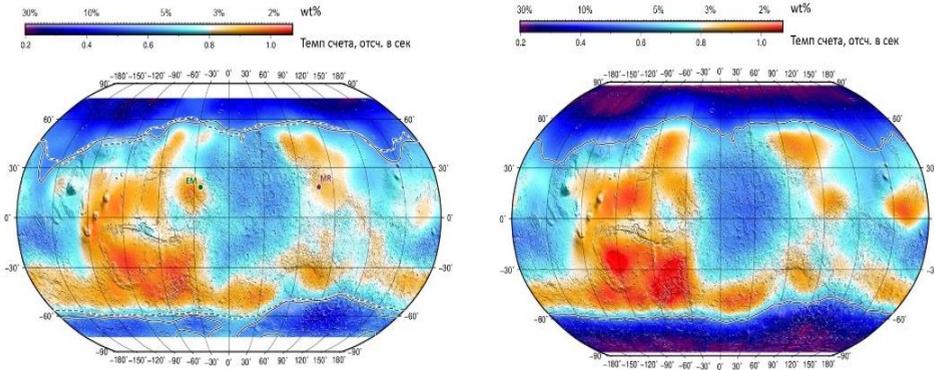


Рис. 3. Карты темпа счета эпитепловых нейтронов прибора ФРЕНД (слева) за период с 3 мая по 10 сентября 2018, соответствующая Ls [170°-247°] и ХЕНД за все время измерений (справа), показывающая отсчеты в секунду со значением 1, соответствующим 2% массовой доли (wt%) воды в марсианском грунте.

Соответствующее содержание воды в wt% также показано на цветовой шкале. Черные контуры показывают линию изо-уровня 5 wt% воды для каждого прибора. Пунктирная линия на карте ФРЕНД показывает изолинию 5 wt% по данным ХЕНД, для сравнения. Рельеф построен по данным MOLA [20]. Зеленая и красная точки показывают отобранные места посадки ЭкзоМарс и Марс Ровер 2020 соответственно

Таблица 2

Локальные районы с повышенным (NSR) или с пониженным (NER) содержанием воды по данным прибора ФРЕНД

Тип и номер района	Статистическая значимость в величинах сигма	Оценка массы воды (%) по ФРЕНД	Оценка массы воды (%) по ХЕНД	Область на поверхности Марса
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Локальные районы с пониженным излучением нейтронов (NSR) и соответственно с повышенным содержанием воды				
NSR1	3.2	$7.0^{+1.2}_{-0.9}$	$4.3^{+0.3}_{-0.2}$	Utopia Planitia
NSR2	5.3	$6.8^{+0.8}_{-0.7}$	4.0 ± 0.2	Amazonis Planitia
NSR3	3.2	$6.7^{+1.1}_{-0.9}$	4.3 ± 0.2	Memnonia Fossae
NSR4	3.6	$6.6^{+1.4}_{-1.0}$	3.6 ± 0.2	Ismenia Fossae
NSR5	3.5	$6.6^{+2.4}_{-1.6}$	2.6 ± 0.3	Область между Terra Sirenum и Daedalia Planum
NSR6	3.3	4.5 ± 0.5	3.1 ± 0.2	Noachis Terra
Локальные районы с повышенным излучением нейтронов (NER) и соответственно с пониженным содержанием воды				
NER1	3.1	$1.6^{+0.4}_{-0.3}$	3.3 ± 0.4	Область между Chryse Planitia и Arabia Terra
NER2	4.6	2.0 ± 0.2	3.3 ± 0.2	К западу от Tharsis Montes
NER3	3.5	2.2 ± 0.4	$4.6^{+0.5}_{-0.4}$	К югу от Alba Mons
NER4	4.0	2.4 ± 0.3	4.3 ± 0.3	К западу от Olympus Mons
NER5	6.0	3.3 ± 0.3	5.9 ± 0.3	Область между Maridiani Planum и Terra Sabaea

Вообще говоря, на картах двух приборов наблюдается сходство переменной массовой доли воды в веществе планеты. Хорошо заметны околополярные области марсианской вечной мерзлоты с высоким содержанием воды. Если формально определить границу этих областей, как линия изоуровня для 5% массовой доли воды, то эти границы по данным обоих приборов практически везде совпадают (рис. 2).

Вместе с тем, в некоторых локальных районах поверхности наблюдается значительное различие в оценках содержания воды, которое возникает благодаря более высокому пространственному разрешению прибора ФРЕНД. Так, например, в районах Utopia Planitia и Amazonis Planitia наблюдаются значительные отклонения в сторону экватора границы северной вечной мерзлоты по сравнению с ее границей по данным прибора ХЕНД.

Для отождествления локальных районов вариаций содержания воды в марсианском грунте по данным прибора ФРЕНД на фоне усредненных значений по данным прибора ХЕНД был выполнен поиск локальных групп пикселей, для которых данные измерений двух приборов статистически значительно различаются друг относительно друга. В результате этого поиска были обнаружены 6 «влажных» локальных районов с пониженным потоком излучения нейтронов (*Neutron Suppression Regions, NSR*) и 5 «сухих» локальных районов с повышенным потоком нейтронов (*Neutron Excess Regions, NER*). Оценки содержания воды в этих районах и их расположение на поверхности Марса представлены в табл. 2 и на рис. 4, 5.

4. Обсуждение полученных результатов

Район NSR1 с наибольшим содержанием воды $7.0_{-0.9}^{+1.2}$ (табл. 2) представляет собой направленный в сторону экватора «язык» на границе северной вечной мерзлоты в области Utopia Planitia (рис. 4). Район NSR1 хорошо совпадает с рельефным образованием в Hrad Vallis, природа которого вероятно связана с потоком лавы, который сопровождался катастрофическим наводнением [11] во время Амазонской эпохи. Кроме этого, район NSR1 находится на границе древнего вулкана Nectes Tholus, для которого были обнаружены признаки относительно недавней ледниковой активности, которая имела место 5-20 миллионов лет тому назад [12].

Примерно такое же содержание воды $6.8_{-0.7}^{+0.8}$ имеет район NSR2, который также представляет собой «язык» границы северной вечной мерзлоты на границе области Amazonis Planitia [13]. Если оба района, NSR1 и NSR2, действительно являются вытянувшимися в сторону экватора частями северной вечной мерзлоты, то наиболее вероятной формой воды в веществе этих районов является водяной лед. В таком случае водяной лед в марсианском грунте впервые наблюдается в такой непосредственной близости от экватора, на широтах около 20° с.ш.

Три локальных «сухих» района NER 2-4 (табл. 2) расположены в непосредственной близости от трех древних марсианских вулканов (рис. 4): NER2 рядом с Tharsis Montes, NER3 рядом с Alba Mons и NER4 рядом с Olympus Mons. Сухие области в окрестности этих вулканов могут указывать на то, что никакой процесс накопления воды в извергнутой породе не происходил за все время после их извержений 3.2-3.6 миллиардов лет тому назад [14, 15].

В центральной части обеих карт хорошо виден обширный район в повышенном содержании воды, название которого традиционно связывают с областью Arabia Terra (рис. 3). На рисунке 5 видно, что условная граница этого района вдоль изолинии, соответствующей 4% воды, проходит значительно за пределами области Arabia Terra. Вероятно, лучшим названием этого обширного района может стать *Giant Water-rich Territory (GWT)*. На северо-востоке границу GWT определяет район NSR4 с достаточно высоким содержанием воды около 7% (см. табл. 2). С другой стороны,

район NSR6 в области земли Ноя может рассматриваться, как южная оконечность GWT (рис. 5). Практически в центре GWT расположен локальный «сухой» район NER5, в котором оценка количества воды составляет всего около 3% (см. табл. 2). Этот район разделяет GWT на северную и южную части. Южная часть GWT включает область Noachis Terra, которая гораздо старше, чем области в северной части GWT.

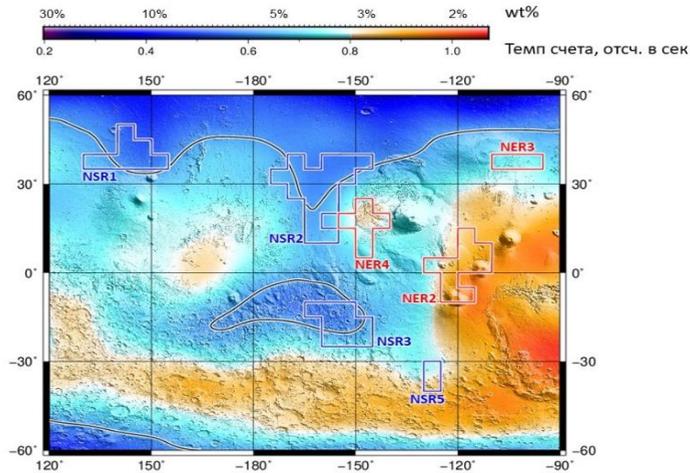


Рис 4. Регион вулканической активности с обозначенными областями повышенного (NER) и пониженного (NSR) темпа счета эпитепловых нейтронов. Черная сплошная линия соответствует изоуровню 5 wt% воды в грунте по данным ФРЕНД

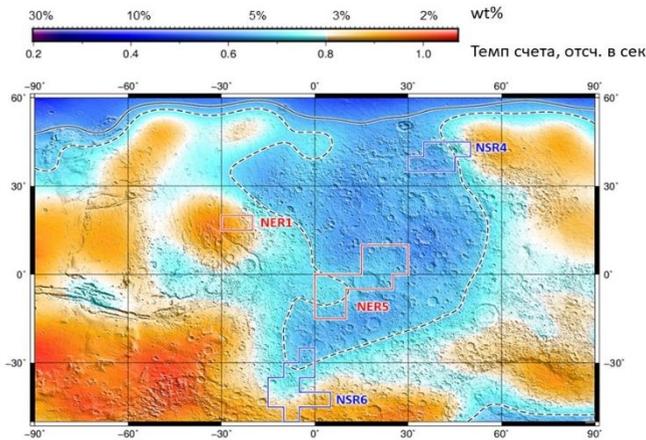


Рис. 5. Регион Giant Water Rich Territory с обозначенными областями повышенного (NER) и пониженного (NSR) темпа счета эпитепловых нейтронов. Черная сплошная линия соответствует изоуровню 5 wt% воды в грунте, черная пунктирная линия соответствует изоуровню 4% wt% воды в грунте по данным ФРЕНД

Поскольку северная и южная части GWT имеют примерно одинаковое содержание воды в грунте 4-6%, но при этом у них разный возраст и геоморфологическое происхождение, можно предположить, что повышенное содержание воды в GWT не связано с процессами формирования и эволюции поверхности, а вызвано какой-либо внешней причиной глобального характера. Следует отметить, что геометрический

центр GWT имеет координаты около 10° в.д. и 15° с.ш. (рис. 4). Следует отметить, что примерно диаметрально противоположно этой точке находится район NSR3 (рис. 3) с массовой долей воды $6.7_{-0.9}^{+1.1}$ %. Можно предположить, что вода в грунте областей GWT и NSR3 накопилась в раннюю эпоху, когда в них находились полярные районы Марса.

5. Заключение

Сопоставление карты содержания воды в марсианском грунте полученной по данным эксперимента ФРЕНД с геоморфологической картой поверхности Марса позволяет сделать вывод, что в ходе эволюции планеты вероятно имели место три различных процесса, которые определили современную картину распространенности воды в верхнем слое марсианской поверхности.

Во-первых, районы с повышенным содержанием воды около 5 – 7 % наблюдаются в участках поверхности, которые образовались в раннюю Амазонийскую эпоху 3.5-2.0 млрд. лет тому назад. Эти районы, примерами которых являются NSR1 и NSR2 (рис. 4), вероятно образовались под воздействием потоков лавы древних вулканов и сопровождавших их катастрофических наводнений вследствие истечения на разогретую поверхность воды из недр планеты [11]. Кроме этого, район NSR1 находится на границе древнего вулкан Купол Гекаты, для которого были обнаружены признаки относительно недавней ледниковой активности, которая имела место 5-20 миллионов лет тому назад.

Те области в окрестности вулканов, куда не попадали потоки глубинной воды остались сухими со времен Амазонийской эпохи. Примером этих «сухих» районов являются NER2 – 4.

Во-вторых, протяженные области вечной мерзлоты с высоким содержанием воды более 5-7 % наблюдаются вокруг северного и южного полюсов Марса выше 60° с.ш. и ю.ш. Северный и южный районы имеют сопоставимое содержание воды, наиболее вероятно в форме водяного льда, при том, что их поверхности существенно различаются по возрасту и по геоморфологии. Известно, что наблюдаемые границы областей вечной мерзлоты (рис. 3) хорошо согласуются с предсказанной границей стабильности водяного льда в верхнем слое реголита для современных значений наклона оси вращения Марса 25° и эллиптичности его орбиты [16]. Вследствие гравитационных возмущений эти параметры существенно изменяются с характерным временем от десятков до сотен тысяч лет. При этом значительно меняются условия нагрева поверхности, и, соответственно условия стабильности водяного льда. Так, при наклоне оси 32° водяной лед может сохраняться на всей поверхности планеты [16]. Таким образом, границы областей вечной мерзлоты на Марсе определяются текущими параметрами его вращения и орбитального движения и обеспечиваются процессами конденсации и сублимации водяного пара между поверхностью и атмосферой. Отсюда можно сделать вывод, что граница современной вечной мерзлоты около 60° с.ш. и ю.ш. имеет возраст порядка нескольких десятков тысяч лет.

В-третьих, на экваториальных и умеренных широтах Марса наблюдаются две диаметрально расположенные протяженные области с высоким содержанием воды. Возможно, что эти области также связаны с полюсами планеты, но с теми, которые располагались в их окрестности в раннюю историческую эпоху Марса. Гипотезы о произошедшем в прошлом значительном повороте коры и мантии планеты относительно ядра неоднократно обсуждались в литературе (см. напр. [17, 18]). Можно предположить, что после поворота полюсов районы вечной мерзлоты вокруг древних полюсов утратили скопившийся на них водяной лед, но значительная часть воды сохранилась в веществе реголита в связанной форме.

Согласно плану научных исследований проекта ЭкзоМарс, дальнейшие наблюдения Марса нейтронным телескопом ФРЕНД позволят накопить статистику нейтронов, которая в 5-10 раз превысит современное значение. Это даст возможность существенно, в 2-3 раза, повысить пространственное разрешение карты содержания воды в веществе поверхности, и тем самым получить возможность исследовать структурные детали рельефа с разрешением порядка 100 км. Это, в свою очередь, позволит продвинуться в исследовании роли воды в процессах формирования отдельных деталей на поверхности Марса, так, например, предоставит возможность изучения распространенности воды внутри и в окрестности крупных ударных кратеров этой планеты.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ЕКА за участие в наземных испытаниях и отработке аппаратуры ФРЕНД и успешное начало реализации проекта ЭкзоМарс 2016. Данная работа была выполнена при поддержке Федерального агентства научных организаций в рамках темы «ОСВОЕНИЕ» №АААА-А18-118012290370-6.

Литература

1. Mitrofanov, I. et al. Fine Resolution Epithermal Neutron Detector (FREND) Onboard the ExoMars Trace Gas Orbiter. *Space Science Reviews*, 214, 86 (2018).
2. Vago, J. et al. ESA ExoMars program: The next step in exploring Mars. *Solar System Research*, 49, 7 (2015).
3. Drake, D., Feldman, W. C., Jakosky, B. M. Martian neutron leakage spectra. *Journal of Geophysical Research*, 93, 6353-6368 (1988).
4. Mitrofanov, I. et al. Maps of Subsurface Hydrogen from the High Energy Neutron Detector, Mars Odyssey. *Science*, 297, 78-81 (2002).
5. Boynton, W. V. et al. Distribution of Hydrogen in the Near Surface of Mars: Evidence for Subsurface Ice Deposits. *Science*, 297, 81-85 (2002).
6. Mitrofanov, I. G. et al. Search for Water in Martian Soil Using Global Neutron Mapping by the Russian HEND Instrument Onboard the US 2001 Mars Odyssey Spacecraft, *Solar System Research*, 37, 5 (2003).
7. Wilson, J.T. et al. Equatorial locations of water on Mars: Improved resolution maps based on Mars Odyssey Neutron Spectrometer data, *Icarus*, 299, 148-160 (2018).
8. Mitrofanov, I. et al. Lunar Exploration Neutron Detector for the NASA Lunar Reconnaissance Orbiter. *Space Science Reviews*, 150, 183-207, (2010).
9. Sanin, A. et al, Hydrogen distribution in the lunar polar regions. *Icarus*, 283, 20-30 (2017).
10. Semkova, J. et al., Charged particles radiation measurements with Liulin-MO dosimeter of FREND instrument aboard ExoMars Trace Gas Orbiter during the transit and in high elliptic Mars orbit. *Icarus*, 303, 53-66 (2018).
11. Hamilton C. W., Mouginis-Mark P. J., Sori M.M., Scheidt S. P., & Bramson A. M, Episodes of aqueous flooding and effusive volcanism associated with Hrad Vallis, Mars. *JGR Planets*, 123, 1484-1510 (2018).
12. Huber E. et al. Discovery of a flank caldera and very young glacial activity at Hecates Tholus. *Nature*. 434, 7031 (2005).
13. Fuller E. R., Head J. W. Amazonis Planitia: The role of geologically recent volcanism and sedimentation in the formation of the smoothest plains on Mars. *Journal of Geophysical Research*, 107, E10 (2002).
14. Werner, S.C.; Tanaka, K.L.; Skinner, J.A. Mars: The Evolutionary History of the Northern Lowlands Based on Crater Counting and Geologic Mapping. *Planet. Space Sci.*, 59, 11-12 (2011).
15. Hartmann, W.K. Martian Cratering 8: Isochron Refinement and the Chronology of Mars. *Icarus*. 174, 2 (2005).
16. Bouley, S.; Baratoux, D.; Matsuyama, I.; Forget, F.; Sejourne, A.; Turbet, M.; Costard, F. Late Tharsis formation and implications for early Mars. *Nature*, 2016; DOI: 10.1038/nature17171.
17. Melon, M.T., Jakosky, B.M. The distribution and behavior of Martian ground ice during past and present epochs. *Journal of Geophys. Research*, v. 100, No. E6, pages 11,781 – 11,799 (1995).

18. Arkani-Hamed, J., (2001). Paleomagnetic pole positions and reversals of Mars. *Geophys. Res. Letters*, 28, 3409-3412.
19. Litvak M.L. et al. Comparison between polar regions of Mars from HEND/Odyssey data. *Icarus*, 180, 23-37 (2006).
20. Smith, D. et al. Mars Orbiter Laser Altimeter: Experiment summary after the first year of global mapping of Mars. *Journal of Geophysical research*, 106, 23689-23722 (2001).

И.Д. Новиков¹

Звезды, создающие гравитационное отталкивание

1. Введение

Предсказывается возможность существования во Вселенной звезд, создающих вне себя гравитационное отталкивание. Такие звезды состоят из необычного вещества с отрицательной плотностью массы $\rho < 0$ и положительным давлением $p > 0$. Возможность такого вещества давно рассматривалась в физике и сейчас широко обсуждается. В обычной звезде тяготение вещества с $p > 0$ стремится сжать звезду, а давление расширить. Равенство этих сил ведет к равновесию. В предсказываемой звезде гравитационное отталкивание вещества с $\rho < 0$ стремится расширить звезду, а давление, действующее на отрицательную массу, ее сжимает. Равновесие обеспечивается равенством этих сил. Такие звезды создают вне себя гравитационное отталкивание. Подробности см. в [1].

2. Удивительные открытия в астрофизике

В последнее столетие в астрофизике было открыто много удивительных объектов и явлений, совершенно не похожих на те, что было известны до этого. Эти объекты включали в себя совершенно новую физику. Так, например, в прошлом веке были открыты белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры, темная материя и темная энергия. Эти открытия совершили настоящий переворот в астрофизике. Во многих случаях им предшествовали теоретические предсказания, крайне необычные, часто весьма скептически встречаемые профессиональными астрономами и физиками. Ярчайшими примерами этому являются черные дыры и ускоренное расширение Вселенной, связанное с темной энергией.

Необходимой чертой рассматриваемых исследований является изучение широким фронтом различного рода теоретических возможностей, которые ведут к гипотезам, часть из которых до сих пор не привела к открытию соответствующих небесных тел и явлений во Вселенной, но часто с надеждой на обнаружение их в будущем. Примером такого рода является гипотеза кротовых нор ([2-4]).

Успехи, которые приносило в развитии астрофизики рассмотрение необычных гипотетических небесных тел, и аналогичная ситуация в развитии физики, заставляют нас и дальше использовать те же методы. Разумеется, новые гипотезы должны удовлетворять основным надежно установленным законам природы.

В этой статье для построения моделей небесных тел мы используем необычное уравнение состояния вещества. Речь идет об уравнении состояния с отрицательной плотностью энергии. Обращение к этой возможности связано, конечно, с открытием сил гравитационного отталкивания, заставляющих Вселенную расширяться

¹ Астрокосмический центр Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, член-корреспондент РАН

ускоренно, как это было в эпоху инфляции и в современную эпоху. Однако, эта антигравитация обусловлена отрицательным давлением, а не отрицательной плотностью энергии ([5, 6]).

Мы исследуем другую возможность – рассмотрим уравнение состояния материи и отрицательной плотностью энергии ρ и положительным давлением p :

$$\varepsilon = \rho c^2 < 0, \quad p > 0 \quad (1)$$

Возможность столь необычного условия давно рассматривается в теории.

3. Равновесие звезды в общей теории относительности (ОТО)

Запишем условие равновесия сферической звезды в ОТО:

$$g = -G \frac{M(r) + 4\pi p(r)r^3}{r^2 + 2M(r) \cdot r} \quad (2)$$

$$M(r) = 4\pi \int_0^r \rho(r)r^2 dr \quad (3)$$

$$\frac{dp}{dr} = (\rho(r) + p(r)) \cdot g \quad (4)$$

Уравнение (2) выражает ускорение g , создаваемое гравитацией звезды. Наиболее важным для нас отличием уравнения равновесия в ОТО от уравнения равновесия в ньютоновской теории является наличие в числителе выражения (2) второго слагаемого с $p(r)$. Первое слагаемое в числителе (2) является массой M , зависящей только от $\rho(r)$, но не от $p(r)$ (см. [3]). Это слагаемое зависит от распределения $\rho(r)$ по объему звезды, и оно создает гравитацию во всем пространстве. Второе слагаемое в числителе (2) создает гравитацию только локально на расстоянии r , где проводится измерение g . Этим давление, как источник гравитации, принципиально отличается от плотности массы. В пространстве, там, где нет давления, нет и его влияния на гравитацию, даже если в других областях пространства оно присутствует.

4. Модели равновесных звезд

В качестве примера приведем две модели звезды, построенные из материи с отрицательным ρ , полученные интегрированием (2)-(4). На рис.1 изображено распределение плотности ρ (отрицательной) и давления (положительного) в такой звезде.

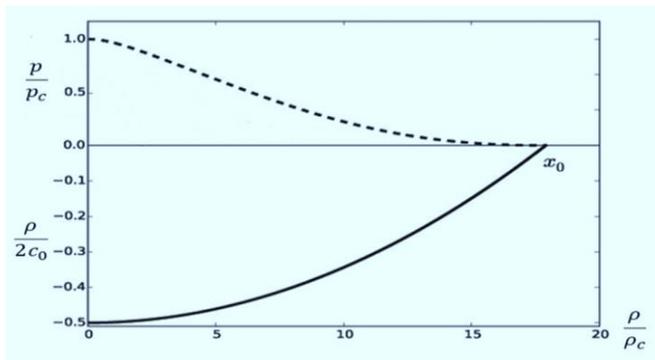


Рис. 1. Распределение плотности ρ (отрицательной) и давления (положительного) в исследуемой звезде

Второй пример – звезда с постоянной по радиусу плотностью ρ . Здесь распределение давления $p(r)$ находится аналитически:

$$\rho = \text{const} < 0,$$

$$p = \rho_v \left[\frac{\sqrt{1 + \frac{2|M|r^2}{R^3}} - \sqrt{1 + \frac{2|M|}{R}}}{3 \cdot \sqrt{1 + \frac{2|M|}{R}} - \sqrt{1 + \frac{2|M|r^2}{R^3}}} \right], \quad (5)$$

$$p > 0.$$

5. Заключение

В рассматриваемых звездах отрицательное ρ создает гравитационное отталкивание, стремящееся расширить звезду, а положительное p с градиентом от центра звезды к поверхности создает силу гидростатического расталкивания, которое, как кажется, также стремится расширить звезду. Откуда же возникает равновесие? Дело в том, что сила давления действует на отрицательную плотность массы. А отрицательная масса ускоряется против направления действия силы, т.е. к центру, сжимая звезду. Равенство действий гравитационного отталкивания и гидростатического давления, действующих в противоположных направлениях, обеспечивает равновесие.

Таким образом, по сравнению с обычными звездами роль гравитации и давления поменялись местами. Заметим, что вне звезды, в пустоте, сил давления нет, остается только антигравитация, создаваемая отрицательной массой M , т.е. существует гравитационное отталкивание.

Литература

1. I.D. Novikov, G.S. Bisnovatyι-Kogan, D.I. Novikov, Stars, creating a gravitational repulsion, Phys. Rev. D, 98, 063528, (2018).
2. Flamm L., Phys.Z., 17, 44, (1916).
3. Кардашев Н.С., Новиков И.В., Шацкий А.А., Астрон. Ж., 83, 685, (2006).
4. Kardashev N.S., Novikov I.D., Shatskiy A.A., Int.J. Mod. Phys. D, 16, 909, (2007).
5. Горбунов Д.С., Рубаков В.А., Введение в теорию ранней Вселенной, Институт ядерных исследований РАН, Москва, (2009).
6. Spergel D.N. et al., ApJSS, 148, 175, (2003).

**А.С. Мельников¹, С.В. Миронов¹, А.В. Самохвалов¹, А.Ю. Аладышкин¹,
А.И.Буздин^{2,3}**

Электродинамика гибридных структур сверхпроводящей спинтроники

Взаимодействие между двумя антагонистическими явлениями – сверхпроводимостью и ферромагнетизмом (СФ) – давно привлекает внимание исследователей. Важность этого вопроса обсуждалась еще в 1950-х годах в пионерской работе лауреата Нобелевской премии (2003 г.) академика Виталия Гинзбурга [1].

¹ Институт физики микроструктур РАН

² University Bordeaux, LOMA UMR-CNRS 5798, F-33405 Talence Cedex, France

³ Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, CB3 0FS, Cambridge, United Kingdom

Взаимный антагонизм этих двух явлений очевидным образом следует уже из фундаментального свойства сверхпроводящего состояния металлов – эффекта Мейсснера. Незатухающие токи сверхпроводящих электронов, которые отвечают при этом за экранировку внешних магнитных полей, оказывают разрушающее влияние на саму сверхпроводимость: она исчезает при превышении некоторого критического значения приложенного магнитного поля. Любой магнитный материал представляет собой естественный источник магнитных полей, которые должны, таким образом, разрушать сверхтекучее состояние электронов в материале. Приведенные аргументы иллюстрируют так называемый электромагнитный (или орбитальный) механизм конкуренции сверхпроводимости и магнетизма. Такое взаимодействие должно существенно затруднить одновременное сосуществование этих явлений в естественных материалах или искусственных структурах. В работе В.Л. Гинзбурга была подробно проанализирована лондонская электродинамика ферромагнитного сверхпроводника, рассчитано распределение сверхпроводящих токов, компенсирующих токи намагнитченности, построены фазовые диаграммы ферромагнитных сверхпроводников во внешних полях.

Следует отметить, что конкуренция сверхпроводящего и магнитного состояний вещества оказалась не только интригующей и красивой физической задачей, она имеет перспективу практического использования в новом классе устройств криоэлектроники – твердотельных приборов, функционирующих при криогенных температурах. Доклад в значительной степени сфокусирован на анализе электродинамики гибридных СФ структур, понимание которой оказывается весьма важным для приложений. Электродинамические свойства рассматриваемых систем существенно определяются характеристиками интерфейса между сверхпроводящей и магнитной подсистемами. В условиях так называемого эффекта близости (при не слишком большом сопротивлении границ раздела СФ) появляется новый эффект: становится существенным влияние обменного взаимодействия на сверхпроводящие электроны. Изменяя с помощью внешнего магнитного поля распределение магнитного момента, мы получаем возможность непосредственно управлять и спинами электронов в сверхпроводнике. Квантовомеханический характер их движения приводит при этом к весьма нетривиальному кругу явлений, которые можно объединить термином «сверхпроводящая спинтроника» (от англ. Spintronics – SPIN TRansport electrONICS) [2]. Идея использования гибридных структур, изготовленных из комбинаций магнитных и сверхпроводящих материалов, которые разделены изоляционными или проводящими прослойками, для элементной базы криоэлектроники заключается в возможности управления сверхпроводящими токами путем изменения магнитного состояния ферромагнитной подсистемы. Безусловно, такой способ управления подразумевает использование достаточно слабых управляющих магнитных полей, приложенных к системе. Успехи современной технологии (напылительной техники и литографии) позволили экспериментаторам и технологам изготовить и исследовать весьма обширный класс обсуждаемых структур. Более того, в последнее десятилетие поток работ в данном направлении неуклонно возрастает, открывая вполне реальные перспективы для создания прототипов элементов так называемой сверхпроводящей спинтроники. Несмотря на необходимость очень низких температур для работы подобных устройств, использование их может быть вполне целесообразно, поскольку позволяет существенно снизить диссипативные потери, влияющие на функционирование элементов обычной (несверхпроводящей) спинтроники [3]. Среди наиболее известных спинтронных устройств можно назвать джозефсоновские контакты с инвертированным соотношением между сверхпроводящим током и разностью фаз сверхпроводящих электродов (π -контакты) [4, 5] и спиновые вентили

(spin-valve – клапан, затвор), в которых критическая температура перехода контролируется взаимной ориентацией магнитных моментов в магнитной подсистеме [6]. Инженерия ток-фазового соотношения может быть использована в конструировании кубитов (базовых элементов для хранения информации в квантовом компьютере) [7] и для создания малошумных СКВИД-магнитометров (от англ. Superconducting Quantum Interference Device) – высокоточных устройств для измерения магнитного потока [8]. В настоящее время работы по сверхпроводящей спинтронике стали действительно «горячей темой» в физике конденсированных сред.

Управление сверхпроводимостью в СФ системах посредством орбитального эффекта. Доменная сверхпроводимость. Управляемые сверхпроводящие каналы наноразмеров.

Начнем краткое обсуждение особенностей свойств гибридных СФ структур с анализа систем, в которых взаимодействие сверхпроводящих электронов и магнитных атомов происходит исключительно за счет электромагнитного механизма (рис. 1), предсказанного В.Л. Гинзбургом. Подавление обменного механизма взаимодействия, подразумевающее отсутствие электронного транспорта между сверхпроводящей и ферромагнитной подсистемами, может быть реализовано либо в СФ системах с ферромагнитными изоляторами, либо в системах с малопрозрачными изолирующими барьерами на СФ интерфейсе. Свойства магнитосвязанных (flux-coupled) структур сверхпроводник-изолятор-ферромагнетик подробно описаны в обзоре [9].

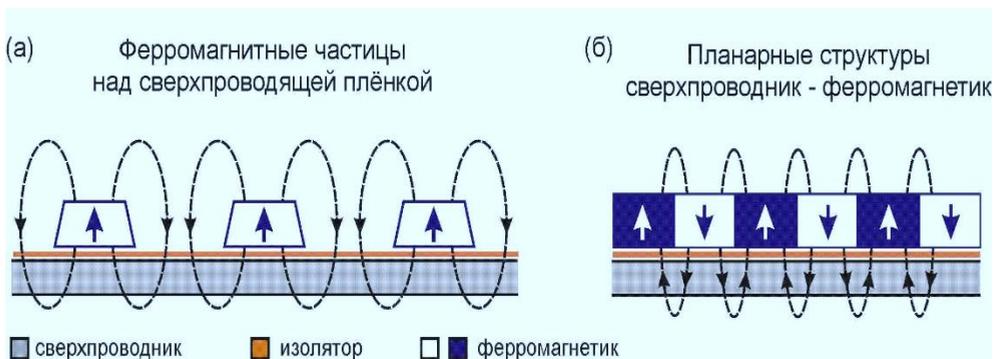


Рис. 1. Примеры гибридных структур сверхпроводник – ферромагнетик, в которых сверхпроводник и ферромагнетик разделены слоем изолятора.

Пунктирные линии показывают силовые линии магнитного поля, создаваемого ферромагнитной подсистемой

Ферромагнитная подсистема, как правило, характеризуется неоднородным пространственным распределением намагниченности (например, ферромагнитная пленка может обладать доменной структурой (рис. 1б)). Как следствие, поля рассеяния ферромагнетика также могут быть сильно неоднородными и, в конечном счете, приводить к модуляции плотности куперовских пар. При определенных условиях концентрация сверхпроводящих носителей может быть повышена вблизи границ магнитных доменов – такое явление получило название доменной сверхпроводимости (domain-wall superconductivity) [10]. Формирование локализованной сверхпроводимости над протяженной доменной стенкой может приводить к возникновению сверхпроводящего канала в образце, при этом положение и ширина такого канала может контролироваться путем изменения температуры T и внешнего поля H_{ext} , ориентированного перпендикулярно поверхности структуры (рис. 2). Прямое

экспериментальное подтверждение существования сверхпроводящих каналов над доменными стенками было получено с помощью низкотемпературной сканирующей лазерной микроскопии [11] и туннельной спектроскопии [12]. В тех случаях, когда линии нулей перпендикулярной компоненты магнитного поля оказываются замкнутыми (например, для отдельных магнитных частиц или массивов таких частиц [13]), в СФ системах может возникать сверхпроводимость в виде многоквантовых вихрей. Переходы между состояниями с разной завихренностью (иными словами, орбитального момента сверхпроводящего конденсата) при изменении H_{ext} сопровождаются осцилляциями критической температуры, что является аналогом эффекта Литтла-Паркса [14].

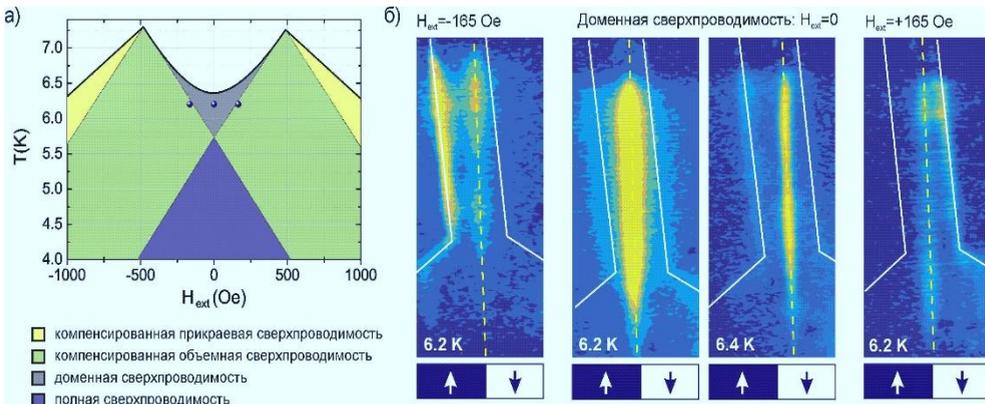


Рис. 2. Локализованная сверхпроводимость в мостике Pb (шириной 40 μm), выращенном на ферромагнитном кристалле $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с изолированной доменной стенкой (по материалам работы [11]): (а) фазовая диаграмма $H_{ext}-T$, построенная по результатам транспортных измерений, (б) наведенная лазерным лучом разность потенциалов ΔV как функция положения центра (x_0, y_0) пучка при $T=6.2$ К и 6.4 К. Примерное положение границ мостика показано сплошными белыми линиями, положение доменной стенки – пунктирной линией

Пространственное распределение $\Delta V(x_0, y_0)$ визуализирует область, по которой при заданных H_{ext} и T протекает основная часть тока. Как следствие, ферромагнитная структура способна обеспечить формирование доменной сверхпроводимости при $H_{ext} \approx 0$, а изменение внешнего поля способно вызвать перемещение сверхпроводящей области из левой половины мостика (при $H_{ext} = -165$ Oe) в правую половину (при $H_{ext} = +165$ Oe).

Управление сверхпроводимостью в СФ системах посредством обменного эффекта. Фазовые переходы между 0 и π состояниями в СФС контактах. Физика электромагнитного отклика SF систем. Парамагнитный отклик.

Совершенно новая интересная физика возникает, когда мы рассматриваем структуры сверхпроводник-ферромагнетик, в которых возможны переходы электронов между подсистемами, т.е. имеет место эффект близости. Проникая в ферромагнетик, куперовские пары испытывают воздействие обменного поля, которое стремится разрушить связанное состояние двух электронов. Однако в некотором слое вблизи СФ границы сверхпроводящие корреляции еще сохраняются, формируя необычное сверхпроводящее состояние: из-за специфической квантово-механической интерференции затухание волновой функции куперовских пар в ферромагнетике

сопровождается знакопеременными осцилляциями на масштабе порядка нескольких нанометров. Осцилляции волновой функции в ферромагнетике приводят к интересным эффектам, возникающим при соизмеримости периода осцилляций и толщины ферромагнитного слоя. Так, например, критическая температура сверхпроводящего перехода СФ бислоя немонотонно зависит от толщины ферромагнетика [15]. Интерференционные явления в квантовой механике куперовских пар становятся еще более нетривиальными в присутствии неоднородных обменных полей, например, в системах, содержащих несколько последовательных ферромагнитных слоев с различной ориентацией вектора намагниченности. Если намагниченность в одном из слоев фиксирована, например, с помощью дополнительного антиферромагнитного слоя, возникает возможность управления взаимной ориентацией векторов намагниченности в соседних ферромагнитных пленках при приложении сравнительно слабых внешних магнитных полей [6]. Изменение профиля обменного поля вблизи поверхности сверхпроводника оказывает сильное влияние на проникновение куперовских пар в ферромагнитную подсистему и, соответственно, смещает критическую температуру сверхпроводящего перехода во всей системе в целом. В результате температурная зависимость сопротивления сдвигается, и мы получаем возможность эффективного управления сопротивлением образца слабым магнитным полем. Такая структура получила название спинового вентиля; ее тоже можно отнести к перспективным элементам будущих криоэлектронных схем. К сожалению, сдвиг критической температуры для большинства ферромагнитных металлов оказывается крайне малым (порядка долей градуса). Заметим, однако, что величина сдвига существенно возрастает при использовании металлов с сильной спиновой поляризацией носителей заряда (когда в зоне проводимости присутствуют электроны только с одним направлением проекции спина).

В джозефсоновских СФС структурах с несколькими сверхпроводящими слоями, осцилляции волновой функции в Ф барьере могут сопровождаться формированием необычного π -состояния [16], при котором устанавливается равновесная разность фаз π между фазами параметра порядка двух сверхпроводников, и возникает инверсия джозефсоновского тока [4] (см., также, обзор [15]). На рис. 3 качественно показано распределение парной волновой функции в обычном джозефсоновском СФС переходе (0-типа) и π -контакте. Переход между 0- и π -состояниями СФС контакта сопровождается, как правило, немонотонной зависимостью критического тока СФС перехода, т.е. максимального тока, протекающего через джозефсоновский переход без диссипации, от температуры и толщины барьера, что впервые было подтверждено экспериментально [5].

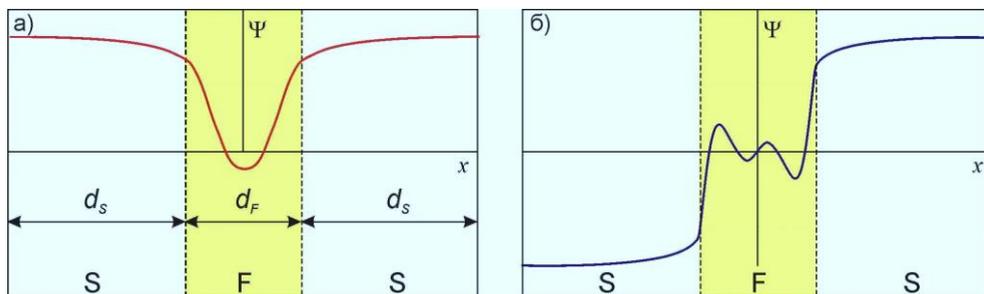


Рис. 3. Качественное поведение парной волновой функции в джозефсоновском СФС контакте: (а) - переход 0-типа; (б) – переход π -типа

Подобные джозефсоновские инверторы фазы могут использоваться в качестве элементов сверхпроводящей логики, в том числе, в сверхпроводниковых кубитах [7].

Удобным методом изучения различных фазовых переходов, вызванных взаимодействием двух конкурирующих параметров порядка, является исследование экранирующих свойств гибридных СФ структур с эффектом близости [17-19]. В системах с сильным беспорядком плотность сверхпроводящего тока \mathbf{j}_s локально связана с векторным потенциалом \mathbf{A} внешнего поля соотношением Лондонов

$$\mathbf{j}_s = - (c/4\pi\lambda^2)\mathbf{A}, \quad (1)$$

где λ – лондоновская глубина проникновения магнитного поля. При этом интегральный магнитный отклик структуры, измеряемый в экспериментах, определяется эффективной глубиной проникновения магнитного поля Λ , которая получается усреднением ядра в соотношении (1) по объему структуры:

$$\Lambda^{-2} = \int \lambda^{-2} dV$$

Немонотонное поведение эффективной глубины проникновения магнитного поля в зависимости от толщины ферромагнитного слоя d_F в целом коррелирует с аналогичной зависимостью критической температуры фазового перехода СФ структуры в сверхпроводящее состояние [20,21].

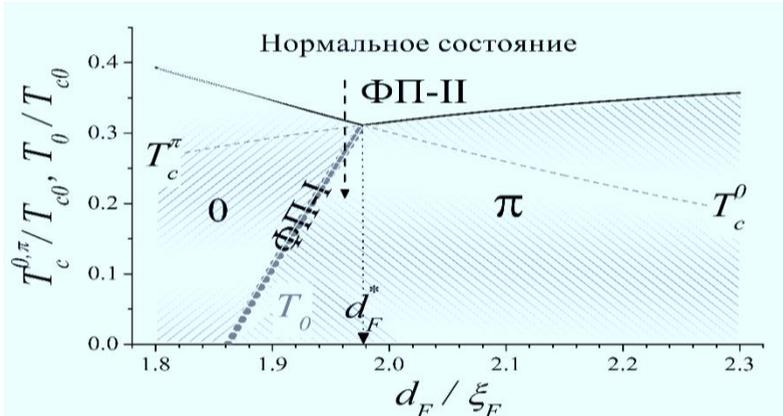


Рис. 4. Типичный вид фазовой диаграммы трехслойной SFS структуры с тонкими S слоями на плоскости d_F – T_c . Критическая температура фазового перехода второго рода (ФП-II) немонотонно зависит от толщины F слоя d_F . Переход первого рода (ФП-I) из состояния 0 в π -состояние при $T=T_0$ сопровождается скачком параметра порядка: $\Delta_\pi(T_0) < \Delta_0(T_0)$ и эффективной глубины проникновения Λ (по материалам работ [20]).

На рис. 5 приведен фрагмент типичной фазовой диаграммы на плоскости d_F – T_c для трехслойной джозефсоновской СФС структуры с тонкими сверхпроводящими слоями (толщина слоя d_s порядка сверхпроводящей длины когерентности ξ_s) в окрестности перехода между 0- и π -состояниями (см. рис. 3). В случае тонких С слоев и при отсутствии барьера на СФ границе эффект близости может вызвать заметное подавление сверхпроводящего параметра порядка $\Delta(T)$ в сверхпроводниках, которое зависит от распределения парной волновой функции в Ф слое. Равновесное значение сверхпроводящего параметра порядка $\Delta_{0,\pi}$ в С слоях для 0- и π -состояний в этом случае будут отличаться: $\Delta_0(T) \neq \Delta_\pi(T)$. Фазовый переход первого рода (ФП-I) между 0- и π -состояниями структуры приведет к резкому увеличению эффективной глубины

проникновения магнитного поля $\Lambda \sim 1/\Delta(T)$ и ухудшению экранирующих свойств структуры при понижении температуры T , которое наблюдалось в экспериментах [21, 22].

Представление о сильном подавлении синглетной сверхпроводимости в ферромагнетике, однако, противоречит целому ряду экспериментальных наблюдений аномально большой длины затухания сверхпроводящих корреляций в Φ металле (см. обзор [17]). Такой аномальный эффект близости и дальное действие – распространение сверхпроводящих корреляций на аномально большие расстояния в ферромагнитных металлах – обычно объясняют возбуждением триплетных пар (суммарный спин пары равен единице), образованных из электронов с одинаковой проекцией спинов на ось квантования [18, 19]. Необходимая для этого конверсия синглетных куперовских пар в триплетные возникает, если ферромагнетик неоднородно намагничен и/или на спин-активной СФ границе, при пересечении которой меняется спин электрона. Присутствие в ферромагнетике вынужденных триплетных корреляций и связанные с ними особенности эффекта близости между сверхпроводником и ферромагнетиком проявляются при исследовании экранирующих свойств гибридных СФ структур. При температуре T близкой к критической температуре T_c , эффективная глубина проникновения магнитного поля Λ определяется средней плотностью синглетных $\langle n_s \rangle$ и триплетных $\langle n_t \rangle$ пар [17]: $\Lambda^{-2} \sim \langle n_s \rangle - \langle n_t \rangle$.

Поскольку поведение синглетных и триплетных сверхпроводящих корреляций в ферромагнетике существенно отличается, локальная плотность сверхтока $\mathbf{j}_s = -e^2(n_s - n_t)\mathbf{A}/mc$ (здесь n_s и n_t – локальные плотности синглетных и триплетных корреляций) может стать локально парамагнитным в тех местах, где триплетные корреляции преобладают ($n_s < n_t$).

Электромагнитный эффект близости. Неустойчивость Ларкина-Овчинникова-Фульде-Феррелла.

До этого момента мы рассматривали физические следствия прямого эффекта близости в СФ структурах, который связан с проникновением куперовских пар из сверхпроводника в ферромагнетик. Вместе с тем, эффект близости вызывает и обратное явление – проникновение магнитного момента из ферромагнетика в сверхпроводник. Существует два основных механизма возникновения магнетизма в сверхпроводнике. Первый связан со спиновой поляризацией электронов, образующих куперовскую пару, вблизи СФ границы (так называемый обратный эффект близости) [23]. Результирующая намагниченность индуцируется в поверхностном слое сверхпроводника шириной порядка размера куперовской пары, то есть корреляционной длины $\xi_0 \sim 1-10$ нм. Второй механизм является чисто электромагнитным: прямой эффект близости возбуждает сверхпроводящий ток, текущий внутри ферромагнитного слоя, и, как следствие, компенсирующие мейснеровские токи внутри сверхпроводника (электродинамический эффект близости) [24]. Эти токи являются источником магнитного поля в сверхпроводнике, которое спадает на масштабе порядка лондоновской глубины λ . В сверхпроводниках второго рода этот масштаб существенно превышает ξ_0 , что делает электромагнитный эффект близости дальнедействующим по сравнению с обратным эффектом близости. Экспериментально пространственное распределение магнитного поля в СФ структурах может быть определено с помощью мюонной спиновой спектроскопии или экспериментов по рассеянию нейтронов. В ряде соответствующих работ было обнаружено, что магнитное поле в сверхпроводящем слое проникает на длину, существенно превышающую все типичные сверхпроводящие корреляционные длины [25], что может быть следствием электромагнитного эффекта близости.

Интересной особенностью электромагнитного эффекта близости является осцилляторная зависимость амплитуды магнитного поля, индуцированного в сверхпроводнике, от толщины ферромагнитного слоя. Действительно, пространственные осцилляции синглетной и триплетной компонент сверхпроводящих корреляций в ферромагнетике приводят к знакопеременному профилю магнитного ядра λ^{-2} в соотношении (1). В результате, направление интегрального тока в ферромагнетике определяется отношением его толщины к корреляционной длине $\xi_F = (\hbar D/h)^{1/2}$, (D – коэффициент диффузии в ферромагнетике, h – обменное поле) и может быть, как диамагнитным, так и парамагнитным. Соответственно, индуцированное в сверхпроводнике магнитное поле может быть направлено как антипараллельно, так и параллельно магнитному моменту ферромагнетика (см. рис. 5).

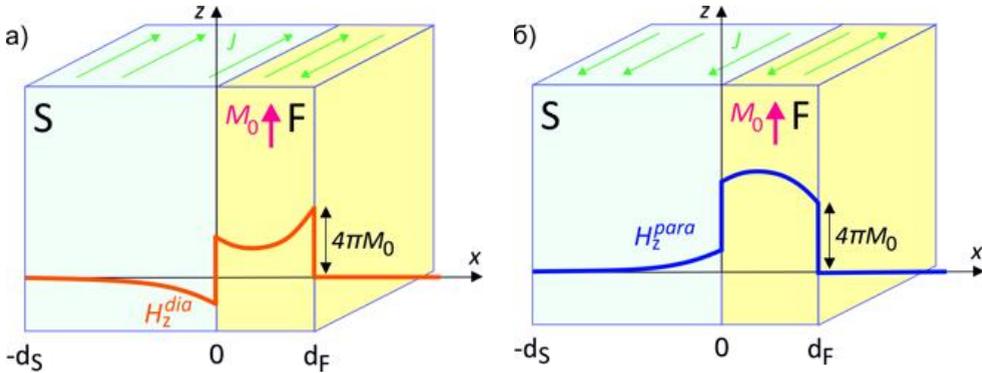


Рис 5. Схематическое изображение спонтанного магнитного поля, возникающего в бислое СФ из-за электромагнитного эффекта близости, в случаях, когда интегральный сверхпроводящий ток в ферромагнетике а) диамагнитный; б) парамагнитный

Важно отметить, что электромагнитный эффект близости возникает даже в структурах, где в силу специального выбора формы ферромагнетика при температурах выше сверхпроводящего фазового перехода отсутствуют поля рассеяния (например, в слоистых СФ структурах с однородной намагниченностью в плоскости Ф слоя). Таким образом, электромагнитный эффект близости необходимо учитывать при проектировании устройств сверхпроводящей спинтроники, в которых возникающее магнитное поле может приводить к существенной модификации рабочих режимов.

Наконец, последним электродинамическим следствием эффекта близости в слоистых СФ структурах, рассмотренным в данном обзоре, является продольная неустойчивость Ларкина-Овчинникова-Фульде-Феррелла (ЛОФФ) и формирование сверхпроводящих состояний с модуляцией параметра порядка в плоскости слоев [26]. Причиной такой неустойчивости является наличие в системе спин-триплетных корреляций, вносящих аномальный парамагнитный вклад в мейснеровский отклик системы. Действительно, рассматривая в рамках теории линейного отклика локальную плотность сверхтока (1) как вариационную производную функционала свободной энергии ($\mathbf{j}_s = -c \delta F_A / \delta \mathbf{A}$), мы можем получить калибровочно инвариантное выражение для части свободной энергии, зависящей от векторного потенциала:

$$F_A = \frac{1}{8\pi} \int \lambda^{-2} \left(\mathbf{A} - \frac{\phi_0}{2\pi} \nabla \theta \right)^2 dV \quad , \quad (2)$$

где $\nabla\theta$ – градиент фазы сверхпроводящей щели, и интегрирование ведется по всему объему структуры. В случае, если толщина структуры существенно меньше λ , выражение (2) в отсутствие магнитного поля может быть переписано в виде

$$F_A = \frac{\phi_0}{16\pi^2} (\nabla\theta)^2 \int \lambda^{-2} dV$$

Отсюда видно, что устойчивость однородного состояния относительно возникновения градиента фазы щели в плоскости слоев определяется знаком интегрального мейсснеровского отклика системы Λ^{-2} , рассчитанного для однородного состояния. Если толщина сверхпроводящего слоя существенно превышает ξ_0 , этот отклик всегда положительный (диамагнитный), и минимум энергии соответствует однородному состоянию. Если же толщина сверхпроводника меньше ξ_0 , оказывается возможной ситуация, когда за счет триплетных корреляций интегральный отклик в однородном состоянии формально становится отрицательным (парамагнитным), что является индикатором неустойчивости однородного состояния и возникновения продольного состояния ЛОФФ с модуляцией сверхпроводящей щели в плоскости слоев.

Возникновение фазы ЛОФФ может осуществляться как фазовым переходом второго рода из нормального состояния, так и фазовым переходом первого рода из однородного сверхпроводящего состояния. Для иллюстрации достаточно ограничиться интервалом температур T , близких к критической температуре сверхпроводящего перехода T_c , где параметр экранировки Λ^{-2} может быть разложен по степеням малого параметра $\tau=(T_c-T)/T_c$: $\Lambda^{-2}=\chi\tau+v\tau^2$, где коэффициенты χ и v не зависят от температуры. Для изолированной сверхпроводящей пленки в модели БКШ $\chi>0$ и $v<0$. Однако обменное поле в СФ структурах модифицирует эти коэффициенты, и для систем с высокой проводимостью ферромагнитного слоя и малой толщиной сверхпроводника коэффициент χ оказывается сильно подавленным и может даже обратиться в ноль. В последнем случае состояние ЛОФФ возникает при $T=T_c$ на фоне нормального состояния путем фазового перехода второго рода. При этом коэффициент v должен оставаться отрицательным, что отражает факт уменьшения квазичастиц с понижением температуры. В результате, если $\chi>0$ и $|v|\gg\chi$ возникновение состояния ЛОФФ осуществляется фазовым переходом первого рода при температуре $T_F/T_c=1-\chi/|v|$ существенно ниже T_c . Типичный вид фазовой диаграммы системы показан на рис. 6.

Неустойчивость однородного состояния в СФ системах открывает новые перспективы по обнаружению фазы ЛОФФ в твердотельных структурах. Несмотря на то, что впервые эти состояния были предсказаны больше 50 лет назад для тонких пленок сверхпроводников, помещенных в продольное магнитное поле, их экспериментальная реализация оказалась экстремально сложной задачей. Во-первых, для возникновения состояний ЛОФФ требуется пленки очень малой толщины или слоистые соединения, в которых орбитальное влияние магнитного поля незначительно. Во-вторых, эти состояния очень чувствительны к беспорядку, который, как правило, довольно сильный как в пленках, так и в слоистых сверхпроводниках. В результате, возникновение фазы ЛОФФ было убедительно продемонстрировано лишь недавно для узкого класса квазидвумерных органических сверхпроводников.

Вместе с тем, ожидается, что трехслойные гибридные системы СФН (Н – нормальный металл) с параметрами, характерными для экспериментов по изучению эффекта близости, позволят реализовать неустойчивость ЛОФФ при температуре порядка нескольких кельвин. При этом оптимальными сверхпроводящими материалами являются NbN, TaN или WSi толщиной порядка 10 нм, а

ферромагнитными – сплавы CuNi или PdFe со специально подобранной толщиной порядка ξ_F , обеспечивающей доминирование спин-триплетных корреляций на ФН границе по сравнению со спин-синглетными. Нормальный металл в таких структурах должен иметь большую проводимость по сравнению с проводимостью сверхпроводника в нормальном состоянии для усиления вклада триплетных корреляций в интегральный мейсснеровский отклик; при этом оптимальными несверхпроводящими металлами являются Ag, Au или Al. В экспериментах переключения между однородными состояниями и состоянием ЛОФФ достигаются изменением температуры, а наиболее простым критерием перехода является обращение в ноль интегрального мейсснеровского отклика структуры на внешнее магнитное поле, направленное вдоль слоев.

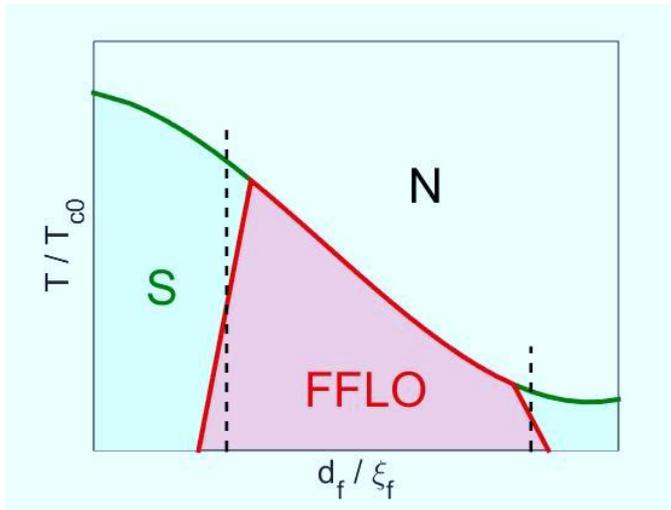


Рис. 6. Схематическое изображение типичной фазовой диаграммы СФ структуры в области параметров, соответствующей возникновению фазы ЛОФФ.

Черные пунктирные линии показывают пример толщин ферромагнетика, при которых изменение температуры приводит к фазовому переходу в состояние ЛОФФ

В заключение необходимо подчеркнуть, что исследования физики конкуренции сверхпроводимости и магнетизма отнюдь нельзя считать завершенными, работы эти продолжают весьма интенсивно в целом ряде экспериментальных и теоретических групп. Работы нашего коллектива в данном направлении были поддержаны проектом Российского научного фонда № 15-12-10020.

Литература

1. Гинзбург В.Л. ЖЭТФ 31, 202 (1956).
2. Ферг А. УФН 178, 1337 (2008).
3. Linder J., Robinson J.W.A. Nature Phys. 11, 307 (2015);
4. Гарифуллин И.А. УФН 176, 676 (2006).
5. Буздин А.И., Булаевский Л.Н., Панюков С.В., Письма в ЖЭТФ 35, 147 (1982); Буздин А.И., Куприянов М.Ю., Письма в ЖЭТФ 53, 308 (1991).
6. Ruzanov V.V. Oboznov V. A., Rusanov A. Yu. *et al.*, Phys. Rev. Lett. 86, 2427 (2001).
7. Tagirov L. Phys. Rev. Lett. 83, 2058 (1999); Buzdin A.I., Vedyayev A.V., Ryzhanova N.V. Europhys. Lett. 48, 686 (1999); Gu J.Y. *et al.*, Phys. Rev. Lett. 89, 267001 (2002); Leksin, P.V. *et al.*,

- Phys. Rev. Lett. 109, 057005 (2012). Oh S., Youm D. and Beasley M. R., Appl. Phys. Lett. 71, 2376 (1997).
8. Рязанов В.В., Обознов В.А., Больгинов В.В. и др., УФН 174, 795 (2004); K. Feofanov, V.A. Oboznov, V.V. Bol'ginov, J. Lisenfeld, S. Poletto, V.V. Ryazanov, A.N. Rossolenko, M. Khabipov, D. Balashov, A.B. Zorin, P.N. Dmitriev, V.P. Koshelets, A.V. Ustinov, Nature Physics 6, 593 (2010).
9. Aladyshkin A.Yu., Silhanek A.V., Gillijns W., Moshchalkov V.V., Supercond. Sci. Technol. 22, 053001 (2009).
10. Buzdin A.I., Melnikov A.S. Phys. Rev. B 67, 020503 (2003); Aladyshkin A.Yu., Buzdin A.I., Fraerman A.A. *et al.*, Phys. Rev. B 68, 184508 (2003).
11. Werner R., Aladyshkin A.Yu., Guénon S. *et al.*, Phys. Rev. B 84, 020505(R) (2011).
12. Iavarone M., Moore S.A., Fedor J. *et al.*, Nature Commun. 5, 4766 (2014).
13. Lyuksyutov I. F., and Pokrovsky V. L., Phys. Rev. Lett. 81, 2344 (1998).
14. Aladyshkin A.Yu., Mel'nikov A.S., Ryzhov D.A. J. Phys.: Condens. Matt. 15, 6591 (2003).
15. Buzdin A. I. Rev. Mod. Phys. 77, 935 (2005).
16. Булаевский Л.Н., Кузий В.В., Собянин А.А. Письма в ЖЭТФ 25, 314 (1977).
17. Eschrig M. Rep. Prog. Phys. 78, 104501 (2015).
18. Bergeret F., Volkov A.F., Efetov K.B. Phys. Rev. B 64, 134506 (2001); Kadigrobov A., R. Shekhter I., and Jonson M., Europhys. Lett. 54, 394–400 (2001).
19. Bergeret F. S., Volkov A. F., Efetov K.B., Rev. Mod. Phys. 77, 1321 (2005).
20. Lemberger T. *et al.*, J. Appl. Phys. 103, 07C701 (2008); Houzet M., Meyer J., Phys. Rev. B 80, 012505 (2009).
21. Pompeo N., Torokhtii K., Cirillo C. *et al.*, Phys. Rev. B 90, 064510 (2014); Samokhvalov A.V., Buzdin A. Phys. Rev. B 92, 054511 (2015).
22. Вдовичев С.Н., Пестов Е.Е., Ноздрин Ю.Н. и др., Письма в ЖЭТФ 104, 336 (2016).
23. Krivoruchko V.N., Koshina E. A., Phys. Rev. B 66, 014521 (2002); Bergeret F.S., Volkov A.F., Efetov K.B., Phys. Rev. B 69, 174504 (2004); Faure M., Buzdin A. and Gusakova D., Physica C 454, 61 (2007); Salikhov R.I., Garifullin I.A., Garif'yanov N.N. *et al.*, Phys. Rev. Lett. 102, 087003 (2009).
24. Mironov S., Mel'nikov A.S., Buzdin A., Appl. Phys. Lett. 113, 022601 (2018).
25. Flokstra M. G., Satchell N., Kim J. *et al.*, Nature Phys. 12, 57 (2016); Khaydukov Yu.N, Nagy B., Kim J.-H., *et al.*, ЖЭТФ 98, 107 (2013); Flokstra M. G., Stewart R., Satchell N., Burnell G., Luetkens H., Prokscha T., Suter A., Morenzoni E., Langridge S., and Lee S. L., Phys. Rev. Lett. 120, 247001 (2018).
26. Mironov S., Mel'nikov A., Buzdin A., Phys. Rev. Lett. 109, 237002 (2012); Mironov S.V., Vodolazov D.Yu., Yerin Y. *et al.*, Phys. Rev. Lett. 121, 077002 (2018).



**ОТДЕЛЕНИЕ
ЭНЕРГЕТИКИ,
МАШИНОСТРОЕНИЯ,
МЕХАНИКИ
И ПРОЦЕССОВ
УПРАВЛЕНИЯ**



Е.А. Микрин¹

Международная космическая станция – научная лаборатория XXI века

Среди всех космических программ конца XX-начала XXI века самой грандиозной по техническим и экономическим параметрам является международная космическая станция, которая представляет собой огромное по составу систем и размерам сооружение массой около 450 т. Длина станции 109 м, ширина 51 м.

МКС - совместный международный проект, в котором участвуют 15 стран-партнеров, 100 государств-исследователей.



Технические характеристики	
Полет	1998 – н.вр.
Экипаж, чел	6
Масса, кг	≈450 000
Длина, м	51
Ширина, м	109
Высота, м	20
Жилой объем, м ³	885
Давление, атм	1
Перигей, км	414,4
Апогей, км	435
Наклонение орбиты, град.	51,7

Рис. 1. Международная космическая станция

В 2018 г. исполнилось 20 лет со дня запуска первого модуля станции. С 1998 г. по март 2019 г. выполнено 207 запусков кораблей и модулей, в том числе 129 российских. Россия обеспечивает непрерывный пилотируемый режим полета МКС, запустив 5 модулей Российского сегмента МКС (РС МКС): функциональный грузовой блок (ФГБ) «Заря», служебный модуль (СМ) «Звезда», стыковочный отсек (СО) «Пирс», малые исследовательские модули (МИМ) «Поиск» и «Рассвет». Транспортно-техническое обеспечение МКС выполняется транспортными грузовыми и пилотируемыми космическими кораблями «Прогресс-МС» и «Союз-МС» с модернизированными бортовыми системами, ключевым элементом этих кораблей является бортовой комплекс управления и его программное обеспечение.

Из-за финансовых трудностей количество запусков кораблей «Прогресс-МС» сокращено до 3-х в год, а с 2017 г. экипаж РС МКС сокращен до 2-х человек. Однако, с 2020 г. для интеграции модуля МЛМ-У экипаж РС МКС должен быть увеличен до 3-х человек, для чего необходим запуск 4-х кораблей «Прогресс-МС» в год.

Управление МКС обеспечивается контуром управления на базе спутников-ретрансляторов «Луч-5» с учетом модернизации наземного радиотехнического комплекса и установки на борту кораблей «Прогресс-МС» и «Союз-МС» единой командно-телеметрической системы.

В 2008 г. в ПАО «РКК «Энергия» разработана и в 2012 г. внедрена в практику космических полетов шестичасовая схема сближения, позволившая сократить в 8 раз время доставки экипажа и грузов на МКС.

¹ Генеральный конструктор по пилотируемым космическим системам и комплексам, академик РАН

Исходя из возможностей корабля «Союз-МС» разработана трёхчасовая («двухвитковая») схема сближения с МКС. В июле 2018 г. проведена отработка новой трёхчасовой схемы сближения на корабле «Прогресс-МС-09».

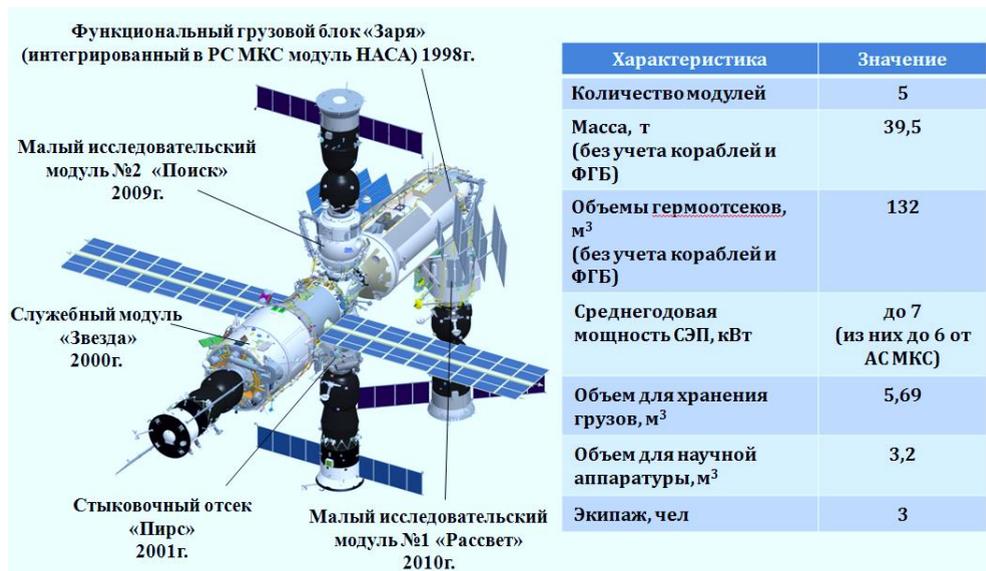


Рис. 2. Российский сегмент Международной космической станции



Рис. 3. Строительство и эксплуатация Российского сегмента МКС

К 2022 г. планируется завершение строительства РС МКС вводом в её состав трёх разрабатываемых в ПАО «РКК «Энергия» новых модулей: многоцелевого лабораторного (МЛМ-У) в 2020 г., узлового (УМ) в 2021 г., научно-энергетического (НЭМ) в 2022 г. Эти модули должны быть спроектированы с учетом возможности создания Российской орбитальной станции (РОС) в случае принятия соответствующих

решений. Транспортно-техническое обеспечение станции будут осуществлять грузовые и пилотируемые корабли «Прогресс-МС» и «Союз-МС».

Отметим, что в настоящее время ведутся переговоры с международными партнерами о продлении программы МКС до 2030 г.

Многоцелевой лабораторный модуль МЛМ-У «Наука» предназначен для проведения широкого спектра исследований, которые обеспечиваются средствами крепления крупногабаритных объектов, универсальными внутренними и внешними рабочими местами, автоматической поворотной виброзащитной платформой, биотехнологическими термостатами. Автоматизация внекорабельных операций обеспечивается манипулятором ERA и автоматизированной шлюзовой камерой. В настоящее время модуль находится на этапе сборки.

На станциях серии «Салют» и орбитальном комплексе «Мир» использовался принцип распределенного обслуживания полезных грузов: для интеграции каждой использовался индивидуальный механический, электрический, тепловой, информационный интерфейс, что требовало разработки и доставки на борт дополнительных специальных кабелей, блоков питания и другого обеспечивающего оборудования. На РС МКС размещение аппаратуры проводится с применением технологии сменных полезных грузов на универсальных рабочих местах.

В МЛМ-У 20 внутренних универсальных рабочих мест (включая 7 рабочих мест для хранения научной аппаратуры).

Характеристика	Значение
Стартовая масса модуля, кг	20 200
Масса в составе РС МКС, кг	24 200
Герметичный объём, м ³	70
Объём для научного оборудования, м ³	6,0
Электропотребление научного оборудования, кВт	до 2,5
Количество универсальных рабочих мест:	
- внутри	не менее 14
- снаружи	13+3 (на СККО)
Назначенный срок службы, лет	10
Ракета-носитель	«Протон-М»



Рис. 4. Многоцелевой лабораторный модуль

Одним из направлений пилотируемой космонавтики, определенных Государственной политикой, является расширение научно-прикладных исследований (НПИ) на околоземных орбитах.

В целях создания высокотехнологичных условий проведения научных исследований создана информационно-управляющая система, которая позволяет интегрировать научную аппаратуру:

- обеспечивая вычислительные ресурсы и стандартные интерфейсы для подключения;
- предоставляя информационные ресурсы МКС (данные баллистики, синхронизацию времени, управление и контроль из ЦУП, хранение и передачу целевых данных на Землю).

Применяются унифицированные аппаратно-программные решения на всех модулях МКС, Компьютеры информационно-управляющей системы (ИУС) обеспечивают подключение научной аппаратуры по интерфейсам CAN, USB, Ethernet, RS422. ИУС представляет собой аппаратно-программные средства, объединённые в единую вычислительную сеть, предназначенную для управления и информационной поддержки научных экспериментов в автоматическом и ручном режимах на СМ, МЛМ-У, НЭМ.

Управление МКС обеспечивается контуром управления на базе спутников-ретрансляторов "Луч-5" с учетом модернизации наземного радиотехнического комплекса и установки на борту кораблей «Прогресс» и «Союз» единой командно-телеметрической системы. Внедрение новых каналов связи позволило перейти к совместному управлению экспериментами в реальном масштабе времени, как на борту РС МКС космонавтами, так и на Земле постановщиками экспериментов (из ЦУП) и обеспечивает также передачу целевой информации от научной аппаратуры.

Основными задачами узлового модуля являются обеспечение «открытой системы» для замены отработавших модулей станции на новые, а также предоставление портов для стыковки модулей и кораблей с объединением их коммуникаций в составе РС МКС. Узловой модуль изготовлен, прошел все испытания и находится на хранении в ЗАО «ЗЭМ».

Характеристика	Значение
Стартовая масса модуля, кг	4650
Масса в составе РС МКС, кг	3880
Масса доставляемых грузов, кг	700
Герметичный объём, м ³	19
Диаметр сферического корпуса, мм	3300
Назначенный срок службы, лет	10
Средства доставки	ТГКМ «Прогресс М-УМ»
Ракета-носитель	«Союз-2» этапа 1б



Рису. 5. Узловой модуль

Научно-энергетический модуль предназначен для обеспечения энергетической независимости РС МКС, проведения широкого спектра научных исследований, отработки перспективных технологий, а также дальнейшего развития РС МКС, обеспечения возможности создания Российской орбитальной станции на базе модулей МЛМ-У, УМ, НЭМ. Идет изготовление штатного изделия и макетов НЭМ для

проведения испытаний в соответствии с комплексной программой экспериментальной отработки.

Характеристика	Значение
Стартовая масса модуля, кг	20 890
Герметичный объём, м ³	92
Объём для научной аппаратуры, м ³	15
Объём для хранения грузов, м ³	7,6
Среднегодовая мощность СЭС, кВт	не менее 18
Электроэнергия для научного оборудования, кВт	до 2,5
Электроэнергия, передаваемая на модули и корабли, кВт	до 12
Количество универсальных рабочих мест снаружи	до 12
Назначенный срок службы, лет	15
Ракета-носитель	«Протон-М»

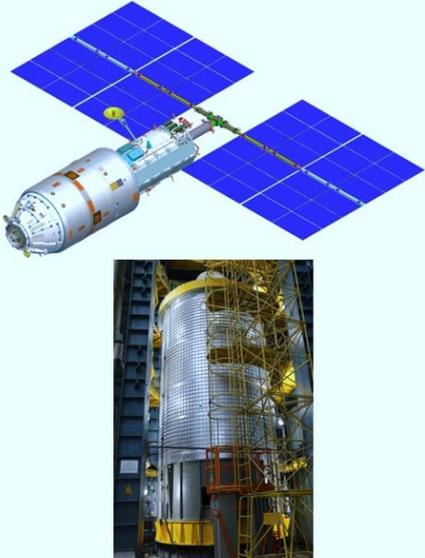


Рис. 6. Научно-энергетический модуль

Уникальные возможности МКС позволяют ученым и инженерам использовать её:

- для изучения длительного воздействия невесомости на организм человека с целью применения полученных знаний как при дальнейшем исследовании человеком космоса, так и укреплении человеческого здоровья на Земле;
- как уникальную экспериментальную лабораторию, где возможно исследование фундаментальных физических, химических и биологических процессов в условиях вакуума и отсутствия гравитационного воздействия;
- в качестве места для отработки новой аппаратуры и методов наблюдения Земли и космического пространства;
- для получения образцов продукции на орбите и для использования накопленных в уникальной космической среде знаний с целью совершенствования земных технологий.

Основными преимуществами пилотируемых полетов в сравнении с эксплуатацией автоматических космических аппаратов является то, что человек действует существенно эффективнее автоматики в сложных (нештатных) ситуациях и трудно предсказуемых условиях. Благодаря работе экипажа в полете обеспечивается монтаж, ремонт и восстановление работоспособности уникального научного и служебного оборудования. Человек в космосе выступает в качестве исследователя и испытателя, обеспечивающего гибкость применения методов исследований, проведения их в интерактивном режиме. Обеспечивается возможность уточнения методик проведения экспериментов и привлечение дополнительных технических средств непосредственно в ходе космического полета.

Научные исследования на РС МКС охватывают 6 направлений:

- исследование Земли и Космоса;
- технологии освоения космического пространства;

- физико-химические процессы и материалы в условиях космоса;
- космическая биология и биотехнология;
- человек в Космосе;
- образование и популяризация космических исследований.

На апрель 2019 г. в программу исследований включено 299 космических экспериментов (КЭ), в том числе 65 КЭ находятся на этапе реализации, 123 - на этапе наземной подготовки, 111 - завершены. Приведем примеры наиболее значимых результатов исследований, полученных на РС МКС.

В направлении «Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса» это разработка технологии высокотемпературного синтеза и проведение рентгеноструктурного анализа кристаллов белков, полученных в условиях микрогравитации.

В направлении «Исследование Земли и Космоса» построены карты нейтронного излучения на орбите МКС и накоплена информация по эмиссиям верхней атмосферы Земли в УФ-диапазоне спектра.

В направлении «Человек в Космосе» исследовано влияние условий и факторов космического полета на различные системы организма человека вплоть до клеточного уровня.

В направлении «Космическая биология и биотехнология» открыта и установлена новая граница биосферы Земли и выращены высококачественные кристаллы белков.

В направлении Технологии освоения космического пространства проведена отработка основных технологических и конструкторских решений межспутниковой лазерной системы передачи информации.

Выполнены также образовательные эксперименты по физике и химии с привлечением школьников, студентов, молодежи для популяризации космоса.

Основное назначение МЛМ-У и НЭМ – расширение реализации научных исследований на РС МКС с использованием усовершенствованных универсальных рабочих мест (УРМ) внутри и на внешней поверхности модуля, в обеспечении возможностей по хранению грузов. Так, например, комплекс целевых нагрузок на МЛМ-У имеет 14 внутренних и 9 внешних УРМ (с возможностью наращивания до 16), организованных с использованием отработанных на СМ и МИМ2 методов и технических средств. С интеграцией МЛМ-У в состав РС МКС количество рабочих мест для размещения научной аппаратуры увеличится в 3 раза.

Для формирования программы исследований создан Координационный научно-технический совет Госкорпорации «Роскосмос» по программам научно-прикладных исследований и экспериментов на пилотируемых космических комплексах, образованный в августе 1994 г. совместным решением Генерального директора Российского космического агентства и Президента Российской академии наук.

Отбор экспериментов в Долгосрочную программу исследований осуществляется секциями Координационного научно-технического совета Госкорпорации «Роскосмос» и соответствует в части фундаментальных космических исследований секциям Совета РАН по космосу.

В качестве постановщиков экспериментов на РС МКС выступают 56 организаций, наиболее активными из которых являются ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева, ФГУП ЦНИИмаш, ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Институт космических исследований РАН, Объединённый институт высоких температур РАН, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН и др.

За все время проведения исследований на Российском сегменте МКС написано более 2000 статей, монографий и патентов, выпущено более 1500 отчетов.

Остановимся подробнее на наиболее значимых примерах экспериментов, проводимых на РС МКС:

- Эксперимент «Ураган». Постановщик – ПАО «РКК «Энергия». Установленные на животных датчики будут сообщать об их перемещениях и состоянии. Собранные информация поможет не только отследить пути миграции животных, но и использовать их как «живые сенсоры» экологической ситуации и предсказателей природных катаклизмов.

- Эксперимент «Магнитный 3D-биопринтер». Заявитель – Частное учреждение «3Д Биопринтинг Солюшенс». Целью эксперимента ученые ставят испытание перспективной технологии выращивания человеческих клеток и органов. Искусственные клетки пригодятся для других экспериментов. С их помощью можно изучать воздействие на человеческий организм вредных космических излучений. Впервые в мире будут проведены летные испытания магнитного биопринтера, позволяющего на новом технологическом уровне изучать физиологию тканей, а также печатать сложные по строению человеческие ткани и органы.

- Эксперимент «СВС». Постановщик – Институт структурной макрокинетике и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез – это процесс получения конденсированных продуктов, материалов и изделий путем сильной реакции горения, при которой тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи. Условия микрогравитации на МКС позволили получить максимально однородную структуру смеси разных составов на основе никеля, алюминия, титана.

- Эксперимент «СЛС». Постановщик – «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения». Эксперимент проводился с целью отработки системы лазерной связи для передачи больших массивов информации от научной аппаратуры. Организовано проведение более 130 сеансов приема-передачи информации по лазерной линии связи при различном состоянии атмосферы, из них 70 - результативных. В сеансах лазерной связи информация передавалась через атмосферу Земли в дуплексном режиме со скоростью 125 Мбит/с от бортового лазерного терминала и 3 Мбит/с от наземного лазерного терминала.

- Эксперимент «Капля-2». Постановщик – Исследовательский центр им. М.В. Келдыша. Эксперимент проводится с целью исследования нового принципа построения систем обеспечения теплового режима агрегатов космических аппаратов на основе капельных холодильников-излучателей. В ходе эксперимента подтверждена возможность разработки перспективной системы обеспечения теплового режима.

- Эксперимент «Плазменный кристалл». Постановщик – Объединенный институт высоких температур РАН. Эксперимент заключается в исследовании пылевой плазмы, представляющей собой низкотемпературную плазму, в которой помимо электронов и ионов присутствуют сильнозаряженные пылевые частицы. В ходе эксперимента реализована технология проведения в интерактивном режиме технически сложных космических экспериментов по исследованию пылевой плазмы в системе «ЦУП-борт-ЦУП».

- Разработана и впервые в мире реализована технология «двойного старта» с перелетом корабля «Прогресс» на более высокую орбиту для запуска малых космических аппаратов. Проведенные на микроспутнике «Чибис-М» измерения показали, что физические механизмы электрических разрядов в атмосфере имеют более сложную природу, чем предполагалось ранее. Разработчик аппарата «Чибис-М» - Институт космических исследований РАН.

В соответствии с Основами государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу одной из задач является исследование и освоение Луны.

Двумя ключевыми событиями в российской лунной программе должны стать высадка российских космонавтов на поверхность Луны в 2030 г. и начало регулярных полётов на Луну после 2030 г.

Ведущие космические агентства также заявляют о приоритете освоения Луны наряду с развитием космической деятельности в области низких орбит. Ряд стран (США, Китай, страны-участники Европейского космического агентства, Япония, Канада, Индия, Израиль) уже приступили к реализации программ, в том числе, в формате международного сотрудничества.

Эксперименты на МКС в максимальной степени должны ориентироваться на отработку критических технологий в обеспечение пилотируемых полетов к Луне, а также на реализацию проектов в интересах сторонних пользователей, включая коммерческие организации и иностранных партнеров.

Так, на РС МКС проводится отработка систем нового поколения (системы стыковки; комплекса систем обеспечения жизнедеятельности; систем управления движения и навигации, бортового комплекса (универсальная аппаратура спутниковой навигации космического применения для решения задач навигации, ориентации, сближения); средств поддержки экипажа; средств связи и передачи данных (отработка широкополосного спутникового канала связи)).

Отработка систем обслуживания космических аппаратов осуществляется с помощью робототехнических средств антропоморфного типа, мехатронных робототехнических средств и манипуляторов, а также путем тестирования технических приспособлений и инструментов.

В настоящее время на РС МКС эксплуатируется механический манипулятор «Грузовая стрела», обеспечивающий перенос крупногабаритных грузов и поддержку внекорабельной деятельности экипажа станции. В составе модуля МЛМ-У будет доставлен на орбиту европейский манипулятор ERA, в составе НЭМ – манипулятор-перестыковщик модуля НЭМ с надирного на боковой порт УМ. В рамках ОКР «Косморобот» будет создан робот, предназначенный для выполнения сборочных, монтажных и других технологических операций на внешней поверхности НЭМ. В рамках КЭ «Теледройд» будет создан антропоморфный робот для локального обслуживания внешней поверхности Российского сегмента МКС в копирующем режиме. В рамках КЭ «Испытатель» будет создан автономный антропоморфный робот для выполнения работ внутри ПТК и Российского сегмента МКС. Первую отработку робота планируется провести на транспортном пилотируемом корабле «Союз-МС-14».

Отрабатываются технологии и материалы нового поколения для надувных конструкций, применяются новые конструкционные материалы для их внедрения в состав крупногабаритных трансформируемых конструкций.

Для обеспечения пилотируемых полетов к Луне и в дальний космос с помощью РС МКС отрабатываются схемы взаимодействия нового, разрабатываемого в настоящее время, пилотируемого корабля «Федерация» с элементами перспективной пилотируемой транспортной системы в части сборки экспедиционных комплексов и их оснащения.

По результатам совместной работы отраслевых институтов и РАН 28 ноября 2018 г. Советом РАН по космосу совместно с Госкорпорацией «Роскосмос» был представлен проект концепции российской комплексной программы исследования и освоения Луны, одобренный решением Президиума Научно-технического совета Госкорпорации «Роскосмос» и Бюро Совета РАН по космосу.

Международные партнеры по Программе МКС также проводят большое количество экспериментов на борту Американского сегмента (АС) по следующим направлениям:

- Исследование влияния факторов космического полета на организм человека;
- Космическая биология;
- Космическое материаловедение и физические свойства новых материалов;
- Геофизические исследования, экологический мониторинг;
- Исследования дальнего космоса;
- Космическое образование.

Например, эксперимент Veggie, основные научные задачи которого включают изучение влияния факторов космического полета на рост и развитие растений и генетических последствий долгосрочного выращивания растений в условиях микрогравитации. В будущем результаты эксперимента могут быть использованы не только для разработки технологий выращивания растений в отдаленных районах Земли и в различных структурах с замкнутой средой обитания, но и в интегрированных системах для поддержки жизни экипажа в межпланетных миссиях, лунных баз. Эта работа имеет высокую прикладную ценность, поскольку в процессе создания и эксплуатации была разработана космическая теплица, современное оборудование и программное обеспечение, позволяющее автоматически выращивать растения.

С помощью магнитного альфа-спектрометра AMS-2 на АС проводится эксперимент по изучению состава космических лучей, поиска антиматерии и темной материи. Точное измерение космического излучения позволит увеличить безопасность пилотируемых полетов. Исследование позволит собрать значительный массив данных и изучить вариации в космическом излучении на большом интервале времени и в большом энергетическом диапазоне. AMS-2 является современным прибором для детектирования заряженных частиц и предоставит большие возможности физикам. Исследования, которые будут проведены благодаря данным, полученным AMS-2, позволят лучше понять природу Вселенной.

На АС испытывается 3D-принтер, который создавался специально для работы в условиях микрогравитации. Это позволит в будущем не дожидаться доставки каждой мелкой детали с очередным рейсом транспортного корабля с Земли, а произвести ее прямо на борту. Это сильно облегчит работу на космических станциях. Для полетов к Марсу или другим далеким планетам достаточно взять 3D-принтер и запас материалов, и не перегружать корабль массой запчастей.

Выводы.

Международная космическая станция – это больше, чем уникальная научная лаборатория мирового класса в условиях космического пространства. Это уникальное инженерное сооружение XXI века, где за пределами планеты работают представители разных стран и научно-технических школ.

Участие в Программе МКС позволило сохранить лидирующие позиции России в области пилотируемого освоения космоса. Практически по всем научным направлениям реализованы прорывные российские инженерные разработки, освоены передовые технологические процессы, задействован лучший научно-технический потенциал нашей страны.

Пилотируемая космонавтика всегда будет оставаться показателем уровня научно-технического прогресса страны и стимулировать развитие новых технологий в ракетно-космической технике.



**ОТДЕЛЕНИЕ
ХИМИИ И НАУК
О МАТЕРИАЛАХ**



А.И. Николаев¹

Развитие фундаментальных и прикладных исследований по переработке апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений

Апатит-нефелиновые руды (АНР) Хибинских месторождений – уникальное явление в мировой геологии, как по запасам фосфорсодержащего сырья, так и сопутствующих ценных компонентов в породообразующих минералах, прежде всего – апатите, нефелине, сфене и титаномагнетите. Основные Хибинские месторождения АНР было открыты в 1923-1926 гг. Северной научно-промышленной экспедицией Академии наук СССР под руководством академика А.Е. Ферсмана [1-3]. По предварительному мнению немецких ученых-экспертов, апатит являлся проблемным нетрадиционным сырьём, которое требует серьезной доработки технологии, используемой в мировой практике при переработке фосфоритов.

Средний минералогический состав АНР приведен в таблице. Первое предприятие, разрабатывающее месторождения в Хибинах (трест Апатит», а ныне АО «Апатит» холдинга «ФосАгро»), является объектом мировой значимости. В течение последних 90 лет большая часть фосфорных удобрений и др. соединений фосфора в СССР и России производится из апатитового концентрата, производство которого в восьмидесятые годы достигало 20 млн. т/год, а в настоящее время - около 10 млн. т / год.

Таблица

Минералогический состав АНР Хибинских месторождений

Наименование минерала	Содержание минерала, %	Полезные компоненты
Апатит	33.7-35.0	P ₂ O ₅ , PЗЭ, F ₂ , SrO
Нефелин	40.6-42.2	Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, K ₂ O, Ga, Rb, Cs
Эгирин	8.7-9.5	
Сфен	2.4-2.9	TiO ₂ , PЗЭ, Nb ₂ O ₅ , SrO
Титаномагнетит	1.1-1.2	Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , V ₂ O ₅
Полевые шпаты	5.0-5.9	
Ильменит	0.1-0.2	TiO ₂
Гидрослюды	0.5-0.7	
Лепидомелан	0.1-0.2	

В 1932 году был опубликован доклад А.Е. Ферсмана на конференции Госплана СССР по размещению производительных сил во второй пятилетке [1]. Он предложил принцип, основанный на учении академика В.И. Вернадского, созданного в начале XX века, об объединяющем человечество пространстве – ноосфере. В этом пространстве сочетаются интересы стран и народов, природа и общество, научное знание и государственная политика. По утверждению Президента страны В.В. Путина именно на фундаменте этого учения сегодня фактически строится концепция устойчивого развития.

А.Е. Ферсман предпринял первую практическую попытку воплотить ноосферные идеи академика В.И. Вернадского в жизнь при освоении природных ресурсов Кольского края. Если природа предпочитает концентрировать на определенных территориях сочетание химических элементов, то и производство необходимо

¹ Заместитель директора Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Руководитель Центра наноматериаловедения Кольского научного центра РАН, член-корреспондент РАН

организовывать соответственно, добывая не отдельные компоненты, а весь геохимический спектр элементов, имеющихся здесь [4]. Развитие Хибинского комбината, по его словам, мыслится на основе использования всей горной массы, минимума привозного сырья, получения высококачественной продукции при полном отсутствии отходов. Он считал, что нужно решительно настаивать на необходимости по-новому заострить научно-техническую мысль и сказать: там поставлено правильно производство, где не пропадает ни грамма добытой горной массы, нет ни грамма отбросов, где ничто не улетает в воздух и не смывается водами [1].

А.Е. Ферсман в том же докладе отметил, что комплексная идея есть идея в корне экономическая, создающая максимальные ценности с наименьшей затратой средств и энергии, но это идея не только сегодняшнего дня. Это идея охраны наших природных богатств от их хищнического расточения, идея использования сырья до конца, идея возможного сохранения наших природных богатств на будущее.

Так как основой ноосферы является наука, то освоение ресурсного потенциала края А.Е. Ферсман начал с создания в 1930 г. постоянной Научной базы АН СССР Хибинской горной станции (ХИГС) Тьетта. До конца своей жизни (1945 г.) он оставался руководителем данной базы, которая к настоящему времени превратилась в крупнейший научный кампус в мировой Арктике – Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр РАН (ФИЦ КНЦ РАН), включающий 8 полноценных исследовательских институтов, технопарк, инженерный центр, опытное производство, 3 музея, научную библиотеку, спорткомплекс. ФИЦ располагается на площади 10 га земли и имеет 70 зданий с общей площадью более 77 тыс. кв. м.

В 1929 г. трест «Апатит» начал добывать апатитовую руду в промышленном масштабе и параллельно обрабатывались технологии выделения и переработки концентратов с получением широкой номенклатуры товарных продуктов. Работы треста и ХИГС тесно кооперировались, что позволяло использовать не только мировой опыт, но и новейшие достижения ученых в области обогащения и переработки нетрадиционных видов сырья. На рис. 1 представлена схема комплексного использования основных полезных ископаемых Хибинской и Монча тундр в системе производств Северного Горно-Химического треста «Апатит» к концу 2-го пятилетия (1937 г.), описанная в работе Соловьянова Г.Н. [5], который был сотрудником ХИГС и в последствии перешел на работу в трест «Апатит», чтобы реализовывать научные разработки ХИГС.

Помимо производственной площадки в Хибинах (г. Хибиногорск, переименованный в г. Кировск), вторая площадка должна была появиться в г. Кандалакше, где располагалась гидростанция и одновременно это был железнодорожный узел и порт на берегу Белого моря. Третья площадка планировалась в Монча тундре, где были только что выявлены месторождения магнетитов, сульфидных медно-никелевых руд. Позднее там появились города Мончегорск и Оленегорск.

Все три площадки были тесно связаны технологически. Линейка конечной продукции была очень обширной и ориентировалась на перспективные потребности народного хозяйства молодой республики. Помимо минеральных концентратов (апатитовый, нефелиновый, сфеновый, магнетитовый, медно-никелевый, пирротинный и др.) в числе основных продуктов были фосфорные удобрения, термофосфаты, желтый фосфор, ферро-фосфор, фосфорная и серная кислоты, жидкое стекло, глинозем, цемент, концентрат редких металлов и др. Причем планируемый масштаб производства отдельных продуктов должен был составить от тыс. т/год до млн. т/год.

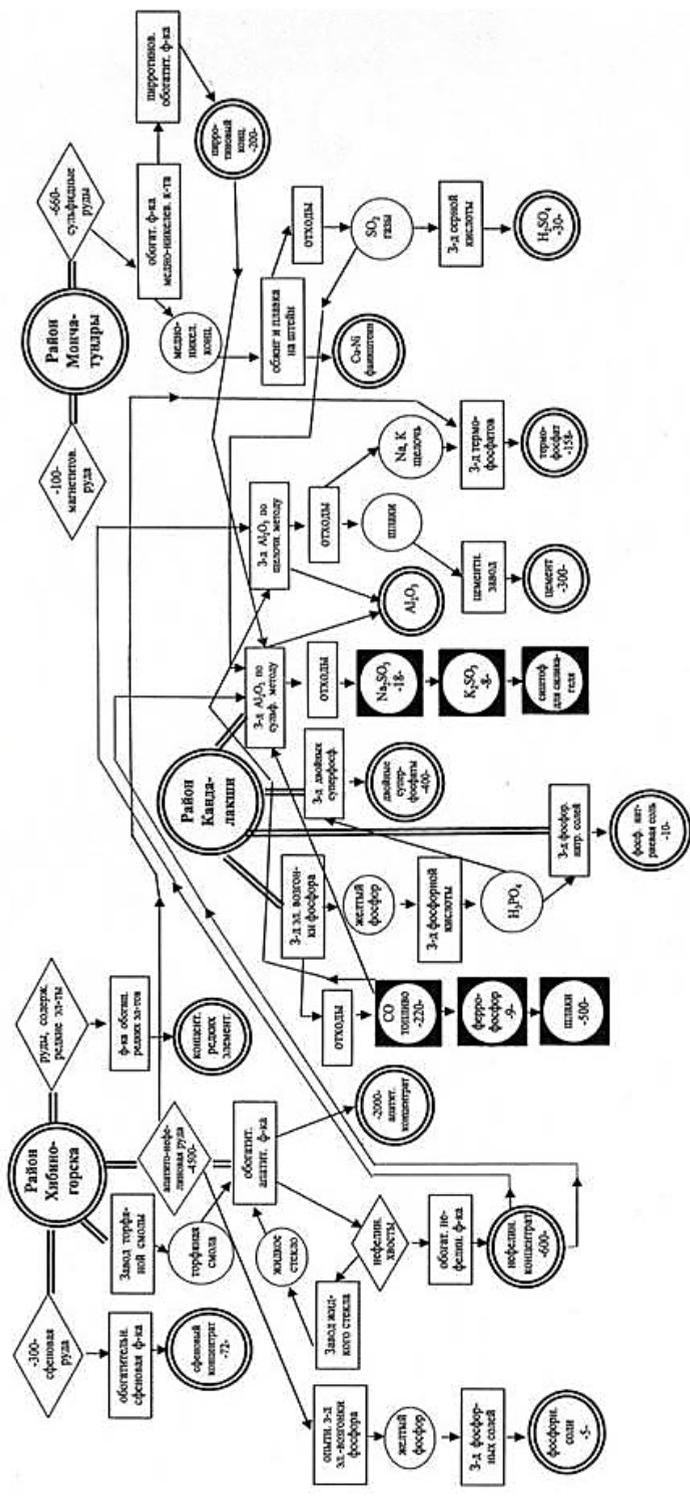


Рис. 1. Схема комплексного использования основных полезных ископаемых Хибинской и Мончегушья в системе производства Северного Горно-Химического треста «Апатит» к концу 2-го пятилетия (1937 г.) вариант 1:

- ◇ Исходное сырье, реализуемое в пределах и за пределами треста;
 - Самостоятельные заводы или фабрики;
 - Промежуточная продукция и отходы, реализуемые в системе производства треста;
 - Конечная продукция, подлежащая реализации;
 - Полные отходы, реализуемые за пределами и в пределах треста как конечная продукция.
- Примечания: 1) Продукция дана в тысячах тонн.
 2) По 1-му варианту плана на 1933-37 гг. исключается производство фосфата Пальмера (и всех от него производных), взамен которых увеличивается выпуск двойных суперфосфатов.

К сожалению, убийство в 1934 г. С.М. Кирова, который активно поддерживал идеи А.Е. Ферсмана по индустриализации Кольского полуострова, привело к ответному террору со стороны властей, замораживанию планов развития треста «Апатит» и даже к репрессиям руководителей треста, которые спустя 25 лет были полностью реабилитированы.

Организация в составе ХИГС, ставшей Кольским филиалом АН СССР и в 2017 г. ФИЦ КНЦ РАН, отдельных профильных академических институтов привела к расширению и углублению научных и практических работ, обосновывающих необходимость комплексной переработки АНР и сырья других месторождений Кольского полуострова. Конечно, в этих работах принимали участие и сотрудники центральных академических институтов, таких как ИОНХ РАН, ИМЕТ РАН, ИМЕТ УрО РАН, ИФХЭ, ИХС РАН, ИХ ДВО РАН и др.

Тесная связь с университетами страны (МГУ, СПбГУ, СПбГИ (ТУ), РХТУ и др.) также способствовала улучшению качества предлагаемых к внедрению разработок. В Советское время, когда отраслевая наука обладала необходимой практической базой и кадрами для испытания технических разработок, сотрудничество с ними позволяло ускорить внедрение инновационных технологий. Но в случае переработки сырья из АНР наиболее эффективной была работа на многопрофильной опытно-промышленной установке АО «Апатит» (см. фото на рис. 2). Она позволяла обрабатывать как схемы обогащения, так и химической переработки концентратов из АНР и руд других месторождений. Технологии титаномагнетитового, сфенового и эгиринового концентратов были реализованы на АО «Апатит» только в опытно-промышленном масштабе из-за низкой и непостоянной потребности, что делало их производства нерентабельным.



Рис. 2. Опытно-промышленная установка на АО «Апатит»

Работы ученых были высоко оценены руководством страны. В 1997 г. сотрудникам Горного института и Института химии и технологии редких элементов и минерального

сырья (ИХТРЭМС) КНЦ РАН была присуждена Премия Правительства РФ за комплекс работ по переработке нефелинового концентрата из АНР и других алюмосиликатов с получением и применением взрывчатых веществ и других продуктов из Кольского сырья. В 2000 г. сотрудникам трех академических институтов ИМЕТ РАН, ИМЕТ УрО РАН и ИХТРЭМС КНЦ РАН присуждена Государственная премия РФ за работу «Теоретические основы комплексной переработки титан-редкометалльного и алюмосиликатного сырья», включающего титаномагнетитовый, сфеновый, нефелиновый и др. концентраты из АНР Хибинских месторождений [6].

Технологии титаномагнетитового, сфенового и эгиринового концентратов были реализованы на АО «Апатит» только в опытно-промышленном масштабе из-за низкой и непостоянной потребности, что делало их производство нерентабельным. Выявленные преимущества природнолегированных сфенового, титаномагнетитового и нефелинового концентратов, как новых нетрадиционных компонентов сварочных материалов, не были реализованы из-за падения производства электродной отрасли и перехода его на импортные материалы.

Научные основы переработки комплексного сырья АНР к настоящему времени изучены достаточно подробно. Разработанные технологии демонстрируют возможность извлечения практически всех ценных компонентов из минеральных концентратов АНР, но на практике эффективность использования сырья остается недостаточно высокой, что объясняется низкой потребностью рынка, а также низкими экономическими показателями производства отдельных продуктов из АНР.

Наиболее полно из АНР извлекается апатитовый концентрат, а из него производят фосфорсодержащие удобрения, фосфорную кислоту и другие соединения фосфора. Ещё одним продуктом переработки являются соединения фтора, а вот соединения стронция и редкоземельных элементов (РЗЭ) теряются при переработке, несмотря на наличие отработанных схем их извлечения. Причем, РЗЭ входят в перечень компонентов, учитываемых госзапасами. При содержании в апатите около 1% оксидов РЗЭ и объеме производства апатитового концентрата более 10 млн. т/год (АО «Апатит» и АО «Северо-западная фосфорная компания») из госзапасов ежегодно списывается более 100 тыс. т оксидов РЗЭ, содержание в которых наиболее ценной и дорогой средне-тяжелой группы достигает 10%. Это многократно перекрывает перспективные потребности внутреннего рынка в соединениях РЗЭ. В последние годы были созданы 3 опытно-промышленных производства коллективных концентратов РЗЭ при переработке апатита по серно- и азотнокислотной схемам. При сернокислотной схеме РЗЭ концентрируются в фосфорной кислоте и основном отходе – фосфогипсе [7], а в азотнокислотной схеме – в азотнокислых растворах. Установка по извлечению РЗЭ из фосфорной кислоты была реализована АО «Апатит» (Череповец), из фосфогипса – в Воскресенске. Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа по второй установке была выполнена ИХТРЭМС КНЦ РАН по Государственному контракту № 13411.0924800.05.016 от 13.11.2013 г. и предусматривала получение второго продукта – гипса, соответствующего нормативным требованиям для использования в строительной индустрии. 3-я установка была создана на АО «Акрон» в Великом Новгороде. Все три производства подтвердили возможность получения качественного концентрата РЗЭ, но данные продукты оказались невостребованными на внутреннем рынке. Создание соответствующих промышленных производств возможно только при условии наличия госзаказа на концентраты РЗЭ и компенсации экономических потерь предприятиям, производящим импортозамещающую продукцию. При этом производство индивидуальных РЗЭ должно быть организовано на отдельном предприятии с учетом

требований рынка к качеству и количеству продуктов РЗЭ, включая потребности отраслей, обеспечивающих оборонную безопасность страны.

Вторым по значимости минералом в АНР, безусловно, является нефелин. Его содержание в руде даже выше, чем апатита. Полезными компонентами в нефелине являются Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , Ga, Rb, Cs. Их количество в добываемой руде многократно превышает реальные потребности рынка. Поэтому следует говорить не комплексной переработке всего нефелина, а только о той части, которая соответствует потребностям рынка по извлекаемым полезным компонентам, прежде всего по глинозему и содопродуктам. Несмотря на доказанную техническую возможность извлечения из нефелина редких металлов, стоящих на учете в госзапасах Rb (до 177 г/т), Ga (до 49 г/т), Cs (до 4 г/т) экономическая целесообразность их извлечения отсутствует. Это требует исключения из госзапасов в нефелине данных редких элементов либо датирования государством соответствующих производств.

АНР являются источником двух титаносодержащих минералов – сфена (титанита) и титаномагнетита, относящихся к нетрадиционным видам титанового сырья. Извлечение концентратов данных минералов отработано в опытно-промышленном масштабе на АО «Апатит». Существующая узаконенная система расчета стоимости дополнительных концентратов, выделяемых из АНР, как и из другого сырья, переносит часть затрат на добычу руды, обогащение и выделение основных концентратов (apatитового и нефелинового) на новые концентраты, что приводит к существенному увеличению стоимости попутных концентратов, а, следовательно, к уменьшению привлекательности новых концентратов с учетом неизбежности рисков переработки нетрадиционного сырья.

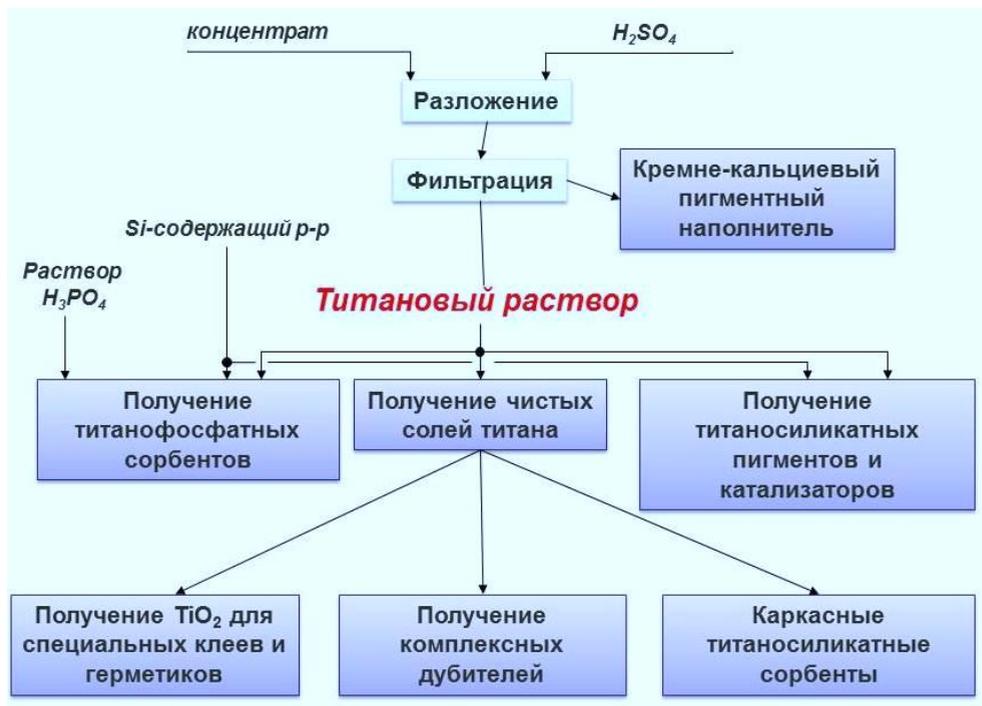


Рис. 3. Комплексная переработка сфена с получением продуктов двойного назначения

Для сфенового концентрата ИХТРЭМС КНЦ РАН совместно с АО «Апатит» разработана схема его комплексного использования с получением широкой номенклатуры продуктов (рис. 3), включающих экологически чистый титановый дубитель для кож, титанофосфатные, титаносиликатные и титанооксидные сорбенты для переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и очистки стоков от тяжелых цветных металлов, фотохимически активный диоксид титана, пигменты и наполнители, герметики для авиакосмической отрасли и др. продукты. Потребности во многих подобных продуктах могут быть обеспечены малотоннажным производством [8].

Острая проблема с утилизацией накопленных в стране ещё с советских времен ЖРО требует поиска современных более безопасных технологий их переработки и захоронения, в частности с использованием перспективных титансодержащих сорбентов из сфена. Данная работа по организации модельной установки ФИЦ КНЦ РАН и опытно-промышленного производства сорбентов проводится с активным участием АО «Апатит» и АО «Кольская ГМК» как промышленных партнеров, обладающих требуемыми сырьевыми ресурсами и опытом организации современных производств (рис. 4) [9].

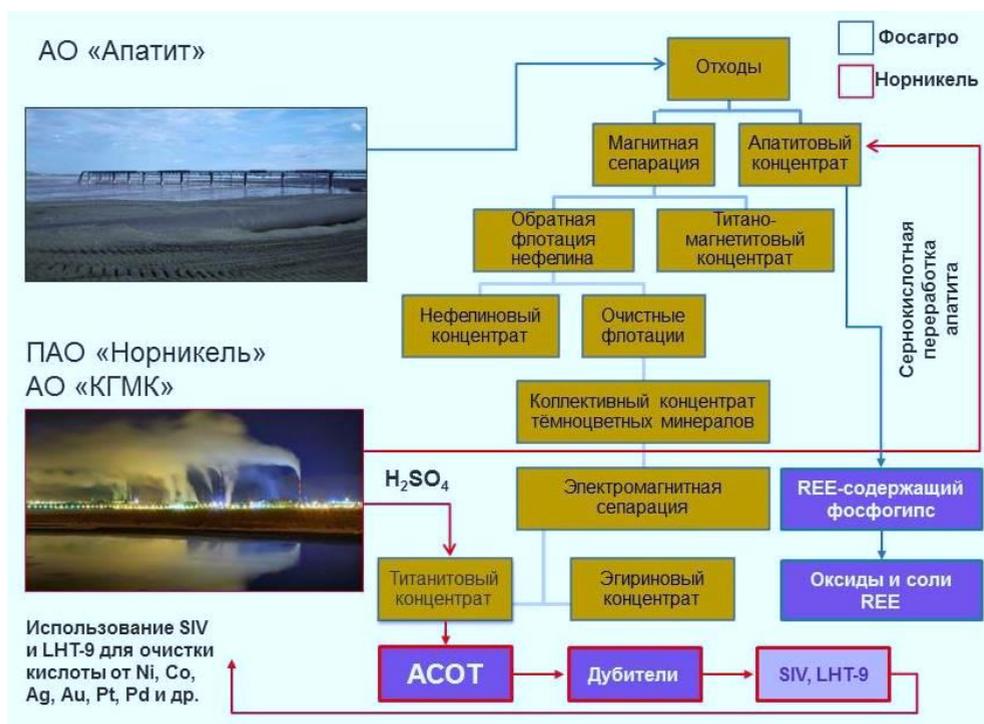


Рис. 4. Перспективы промышленной переработки сфенового концентрата.

SIV – синтетический иванюкит;

LHT-9 – слоистый титанат гидразиния

При проведении совместных исследований и работ по реализации новых технологий использования АНР Хибинских месторождений РАН необходимо взять на себя формирование согласованной программы межотраслевого баланса производства

и потребности в минеральных концентратах и продуктах на их основе, что позволит планировать масштабы производства минеральных концентратов на АО «Апатит» и перерабатывающих мощностей потребителей с учетом реального спроса на новые продукты на внутреннем и внешнем рынках.

Сегодня очевидно, что бизнес или государство в одиночку не способны справиться с комплексным промышленным освоением новых сложных технологий. Во-первых, нужна инициатива и готовность посвятить значительный отрезок времени реализации проектов без стопроцентных гарантий успеха. Во-вторых, необходимы серьезные финансовые вложения с длинным периодом окупаемости.

Поэтому требуется объединение усилий бизнеса, государства, науки и образования. Именно это позволит создать необходимые условия для новых экономически эффективных предприятий, отвечающих самым современным мировым экологическим стандартам.

Бизнес должен выступить инициатором промышленного освоения регионов, а задача государства сводится к поддержке этой инициативы бизнеса, выдаче долгосрочных кредитов с низкими процентными ставками, стимулированию бизнеса специальными налоговыми режимами и др.

Наука и образование – это постоянно обновляющаяся и пополняющаяся копилка высокоэффективных научных разработок и кадрового потенциала для их реализации. Сейчас настало время начать внедрять самые современные и эффективные разработки, определяющие возможности устойчивого развития предприятий, регионов и страны.

Литература

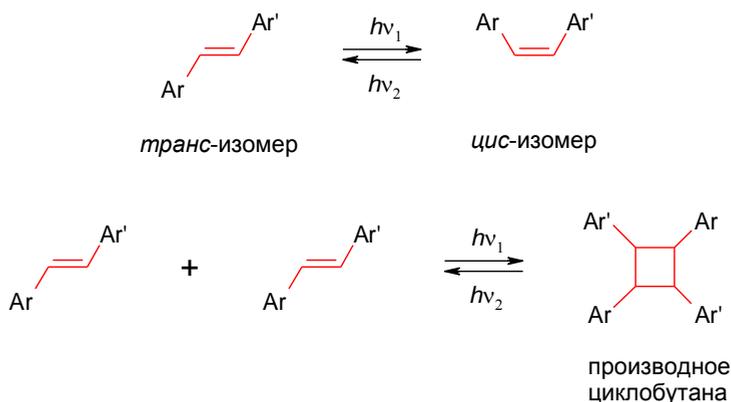
1. Ферсман А.Е. Комплексное использование ископаемого сырья. Л.: Изд-во АН СССР. 1932, 20 с.
2. Каменев Е.А. Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений Хибинского типа (методические основы). Л.: Недра. 1987, 189 с.
3. Калинин В.Т., Григорьев А.В. Комплексная переработка апатито-нефелиновых руд: состояние и перспективы. // Комплексная переработка хибинских апатито-нефелиновых руд. Апатиты. 1999, с. 5-15.
4. Федоров С.Г., Николаев А.И., Брыляков Ю.Е., Герасимова Л.Г., Васильева Н.Я. Химическая переработка минеральных концентратов Кольского полуострова. Апатиты. 2003, 196 с.
5. Соловьянов Г.Н. Научная база Хибинского горнопромышленного комплекса, Л. 1932.
6. Калинин В.Т., Николаев А.И., Захаров В.И. Гидрометаллургическая комплексная переработка нетрадиционного титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья. Апатиты. 1999, 225 с.
7. Локшин Э.П., Тареева О.А. Разработка технологий извлечения редкоземельных элементов при серноокислотной переработке хибинского апатитового концентрата на минеральные удобрения. Апатиты: КНЦ РАН. 2015, 268 с.
8. Николаев А.И., Кривовичев С.В. Направление развития Кольского химико-технологического кластера при переходе от сырьевой экономики к инновационной Химическая технология. 2018. Т. 19. № 11, с. 509-516.
9. Николаев А.И., Кривовичев С.В. Природные минералы и их синтетические аналоги как прототипы функциональных материалов // Вестн. Том. гос. ун-та. Химия. 2017. № 8, с. 7-20.

В настоящее время стало очевидным, что основной тренд в развитии техносферы цивилизации связан с миниатюризацией устройств и машин. Существует две основные стратегии создания наноразмерных архитектур: «снизу вверх» и «сверху вниз». В рамках стратегии «сверху вниз» наночастицы и наноразмерные системы получают в результате измельчения более крупных объектов. Стратегия «снизу вверх» может быть реализована прежде всего с помощью органического синтеза и супрамолекулярной самосборки.

В настоящее время в нанотехнологии «снизу вверх» формируется новое направление – супрамолекулярная инженерия супрамолекулярных устройств и машин различного назначения. Супрамолекулярными устройствами называют структурно-организованные и функционально-интегрированные химические системы. К супрамолекулярным машинам обычно относят устройства, в которых реализация функции происходит в результате механического перемещения компонентов относительно друг друга. И первые, и вторые могут быть использованы при создании механизмов для генерации, преобразования и передачи энергии и движения на наноуровнях, при разработке инструмента для контроля, диагностики нанокolicеств материалов и веществ.

Наиболее удобным способом управления супрамолекулярными устройствами и машинами является свет, который можно легко регулировать как по длине волны, так и по количеству.

В качестве фотоантенн в супрамолекулярных устройствах и машинах в настоящее время наиболее изучены производные азобензола, содержащие N=N-связь. Однако они обладают одним принципиальным недостатком. Производные азобензола способны вступать только в реакцию *транс-цис*- и *цис-транс*-фотоизомеризации. В этом отношении соединения, содержащие углерод-углеродную двойную связь (непредельные или ненасыщенные соединения), имеют ряд преимуществ, главное из которых способность вступать не только в реакцию фотоизомеризации, но и в такую реакцию как, например, реакция [2+2]-фотоциклоприсоединения с образованием производных циклобутана.

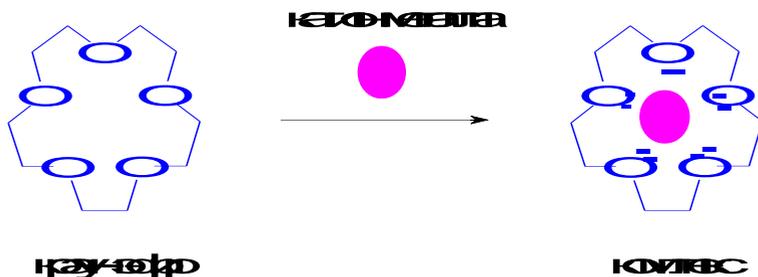


¹ Руководитель Центра фотохимии РАН, член-корреспондент РАН

² Руководитель научного направления «Фотохимия» Центра фотохимии РАН, академик РАН

³ Главный научный сотрудник Центра фотохимии РАН, член-корреспондент РАН

В качестве фрагментов (функционального блока), чутко реагирующих на изменение структуры молекулы при фотопереключении, наиболее часто используют краун-соединения. Это макроциклические соединения, содержащие гетероатомы с неподеленными электронными парами, которые способны предоставляться на образование координационных связей с ионом металла. Одним из фундаментальных свойств этих молекул является их способность вместе с ионами или другими молекулами к самосборке в растворах в системы более высокой степени сложности.



Таким образом, фотопереключаемые супрамолекулярные устройства на основе непередельных соединений и краун-соединений схематично могут быть представлены следующим образом (рис. 1): это гибридные молекулы (КНС), которые должны содержать в качестве фотоантенны непередельный фрагмент, поглощающий квант света, и один или два краун-эфирных фрагмента, способных связывать ион металла [1]. В этом случае самосборка в супрамолекулярные структуры позволит изменять спектральные и фотохимические характеристики непередельного фрагмента молекулы, а с помощью света в свою очередь можно будет управлять самосборкой таких краунсодержащих молекул.



Рис. 1. Схематичное представление фотопереключаемых супрамолекулярных устройств на основе краунсодержащих непередельных соединений (КНС).

Прототипами супрамолекулярных машин, в которых компоненты могут механически перемещаться относительно друг друга (рис. 2), могут быть псевдоротацановые комплексы, напоминающие челнок, непередельных соединений (оси) и макроциклических кукурбитурилов (ротаторы).

Для этого они не должны быть соединены прочными химическими связями.

Кукурбитурилы, которые используются в качестве ротатора в псевдоротацановых комплексах, представляют собой макроциклические соединения типа $(C_6H_6N_4O_2)_n$, их строение напоминает тыкву (латинское название *cucurbita*) или бочку. Размеры их внутренней полости позволяют включать «гостей» — органические молекулы — с формированием комплексов. В областях дна и крышки такой бочки располагаются атомы кислорода карбонильных групп, сильно поляризованных.

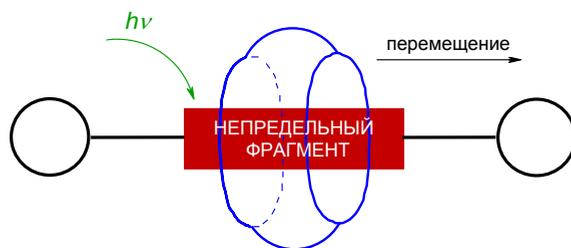
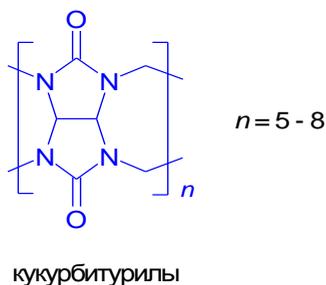


Рис. 2. Схематичное представление фотоуправляемых супрамолекулярных машин на основе непередельных соединений и кукурбитурилов



Это облегчает образование комплексов включения, особенно с положительно заряженными молекулами «гостей», к которым относится большинство фотоактивных непередельных соединений.

В живой природе конструирование огромного многообразия супрамолекулярных архитектур связано с ограниченными наборами компонентов. Примерами таких молекулярных конструкторов могут служить нуклеотиды которые используются природой для построения нуклеиновых кислот различных степеней иерархии.

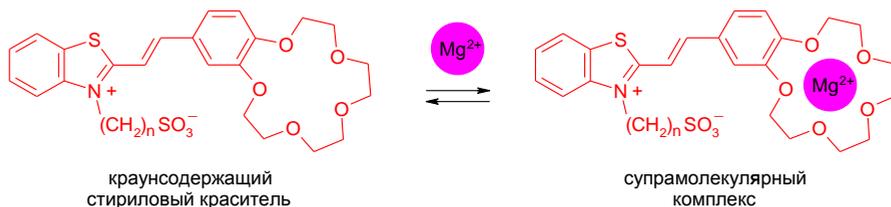
Универсальным приемом построения в нанотехнологии “снизу вверх” фотоактивных супрамолекулярных устройств и машин с заданной архитектурой и разнообразными свойствами может стать использование методологии молекулярного конструктора. Однако такие подходы в нанотехнологии не разработаны.

Минимальные размеры компонентов фотоактивных супрамолекулярных устройств и машин на основе непередельных и макроциклических соединений, изученных нами, составляют от 1.8 до 3 нм.

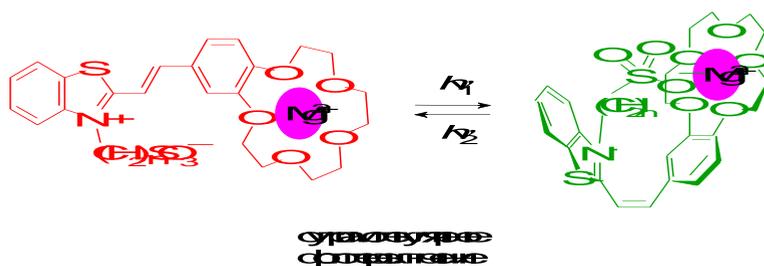
В Центре фотохимии РАН были впервые синтезированы и изучены КНС, имеющие в качестве фотоантенны связь $C=C$ и при ней арильный и гетарильный (гетероароматический) остатки [2]. Это позволяет осуществлять фотопереключение молекул светом видимого диапазона. Одновременно были разработаны методы синтеза ряда соединений, не описанных ранее, но очень перспективных для различных типов фотоактивных супрамолекулярных устройств: производных краун-эфиров, в том числе труднодоступных, например содержащих в макроцикле атомы N, O, S в различных сочетаниях. Можно было предположить, что в результате самосборки молекул КНС и катионов металлов получится сложные надмолекулярные структуры — так называемые супрамолекулярные комплексы, тоже обладающие способностью к фотопереключению.

Мы обнаружили, что среди КНС наиболее перспективны для создания фотопереключаемых супрамолекулярных устройств краунсодержащие стирильные

красители со способной к координации концевой анионной группой SO_3^- . Благодаря последней за счет самосборки удалось получить из них и катионов металлов супрамолекулярные комплексы:



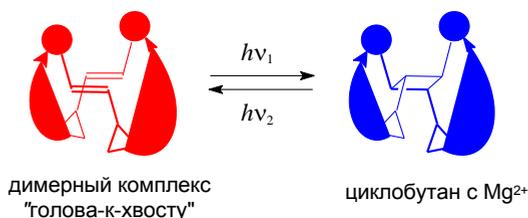
Под действием света одной длины волны такие комплексы как бы «надевают», а под действием света другой длины волны «снимают» свою анионную «шапочку», группу SO_3^- , т.е. способны к супрамолекулярному фотопереключению [3].



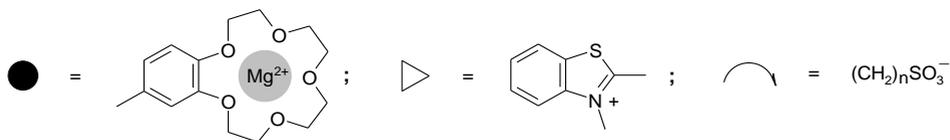
В исследованиях выяснилось также, что *цис*-изомер краунсодержащего стирилового красителя в 500 раз легче образует комплексы, чем *транс*-изомер. Более того, с помощью света можно менять сродство этого КНС к катиону металла, т.е. управлять процессом образования комплекса. Такие супермолекулы принято называть фотопереключаемыми супрамолекулярными устройствами. Таким образом, нами впервые были получены на основе краунсодержащих стириловых красителей фотопереключаемые супрамолекулярные устройства.

Супрамолекулярные комплексы на основе КНС открывают возможности для создания и более сложных фотопереключаемых супрамолекулярных устройств.

Судя по данным фотохимических исследований, в присутствии катионов металлов молекулы краунсодержащих стириловых красителей способны к самосборке в фотоактивные сэндвичевые структуры, в пары по типу «голова-к-хвосту» таким образом, что $\text{C}=\text{C}$ -связи располагаются друг над другом. Если облучать растворы этих супрамолекулярных димерных комплексов светом одной длины волны, то с высокой эффективностью происходит фотоциклоприсоединение с образованием производных циклобутана [4].



Здесь использованы следующие обозначения



Если удалить катион, то светом другой длины волны можно вызвать образование из циклобутана исходного КНС, а затем вновь повторить процесс образования комплекса. Кроме того, полученное производное циклобутана, как выяснилось, образует комплекс с катионом металла намного легче, чем исходный краситель. Таким образом, и в этом случае мы можем управлять процессом образования комплекса с помощью света, т.е. димерный комплекс также представляет собой фотопереключаемое супрамолекулярное устройство [1].

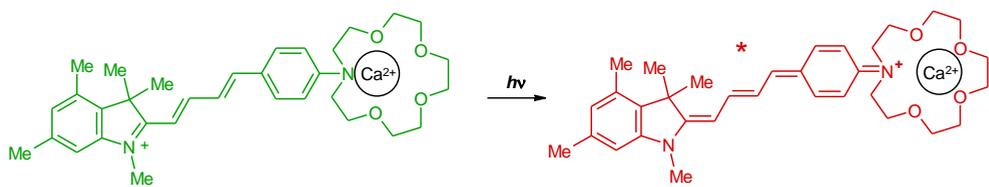
Следует заметить, что в результате реакции фотоциклоприсоединения образуется единственный из 11 теоретически возможных изомеров циклобутана, иначе говоря, данная реакция протекает стереоспецифически [5]. Это дает возможность целенаправленно создавать фотопереключаемые супрамолекулярные устройства строго определенного строения.

Полученные в настоящее время данные позволяют утверждать, что катионы металлов в димерных комплексах КНС не влияют непосредственно на протекание фотореакции. По-видимому, катионы металлов выполняют роль «молекулярного клея», сближая молекулы на расстояния, на которых реакция уже возможна, т.е. наиболее благоприятным для реакции образом.

В отличие от комплексов с анионной «шапочкой» (анион-«накрытых» комплексов), образовавшиеся краунсодержащие циклобутаны без ионов металла представляют собой новый тип фотопереключаемых молекул-«хозяев», обладающих двумя местами связывания катионов металлов. При этом оба краун-эфирных фрагмента расположены таким образом, что можно представить себе их одновременное участие в образовании комплексов (со структурой типа «сэндвича») с катионами металлов большого ионного радиуса (например, бария и цезия) или с небольшими органическими катионами.

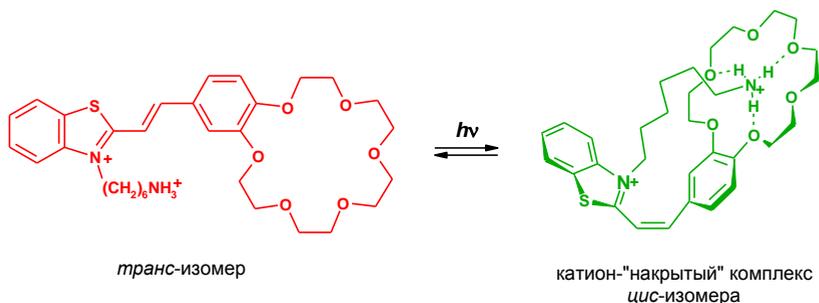
Таким образом, для создания фотопереключаемых супрамолекулярных устройств с заданными характеристиками из двух молекул КНС и двух катионов металлов можно собирать в растворе супрамолекулярные димерные комплексы; с помощью света определенной длины волны превращать их в краунсодержащие циклобутаны с уже иными способностями к образованию комплексов с теми же или другими металлами; вновь их разбирать (при необходимости) на исходные соединения с помощью света другой длины волны.

Представляло интерес исследовать как влияет наличие второй двойной связи C=C в краунсодержащих бутаденильных красителях на их способность к комплексообразованию и фотохимические свойства. В ряду бутаденильных красителей мы обнаружили пример простейшего фотопереключаемого супрамолекулярного устройства с временем переключения 20 пс. В комплексе красителя ион кальция имеет координационные связи со всеми гетероатомами, однако при облучении светом связь кальций-азот разрывается и вновь образуется при переходе из возбужденного в основное состояние. Таким образом, в этом фотопереключаемом супрамолекулярном устройстве управляемой является функция образования связи кальций-азот.

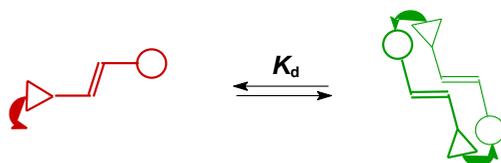


Фотоиндуцированная реакция рекоординации

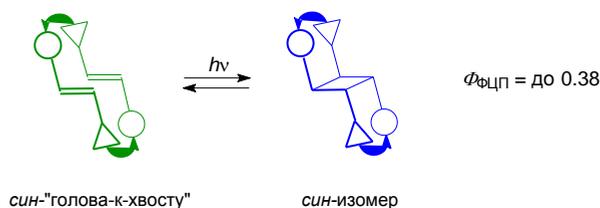
Введение длинного аммонийалкильного заместителя у атома азота гетероциклического остатка стирилового красителя дало возможность получить в растворе устойчивые катион-«накрытые» комплексы в результате фотоизомеризации и внутримолекулярного комплексообразования с участием водородных связей в отсутствие ионов металлов.



В случае более коротких аммонийалкильных заместителей у атома азота гетероциклического остатка стирилового красителя в растворе образуются димерные комплексы в результате спонтанной самосборки с участием водородных связей двух молекул красителя.



В этих комплексах было найдено близкое и практически параллельное расположение непредельных фрагментов красителя, а также благоприятная для протекания реакции [2+2]-фотоциклоприсоединения ориентация двойных связей молекул [6]. Неудивительно, что в случае краунсодержащих стироловых красителей этого типа удалось осуществить в растворе стереоспецифические реакции [2+2]-фотоциклоприсоединения, причем реакции протекают с необычно высокими квантовыми выходами.



Обнаруженное свойство позволяет рассчитывать на использование этих новых фотопереключаемых супрамолекулярных устройств для оптической записи и хранения информации [6].

Важным направлением исследований Центра фотохимии РАН стала самосборка фотоуправляемых супрамолекулярных машин на основе фотоактивных непредельных соединений и кукурбитурилов [4,5]. Оказалось, что кукурбитурилы образуют с положительно заряженными непредельными соединениями достаточно устойчивые комплексы включения типа «гость—хозяин».

Представляло интерес исследовать возможность фотоуправления в супрамолекулярных машинах механическими перемещениями. Простейший вариант подобной фотоуправляемой машины нам удалось создать на основе псевдоротахсанового комплекса включения *транс*-изомера непредельного соединения и кукурбитурила. В этом случае облучение светом приводит к обратимому образованию комплекса *цис*-изомера непредельного соединения с кукурбитурилом (рис. 3) [7].

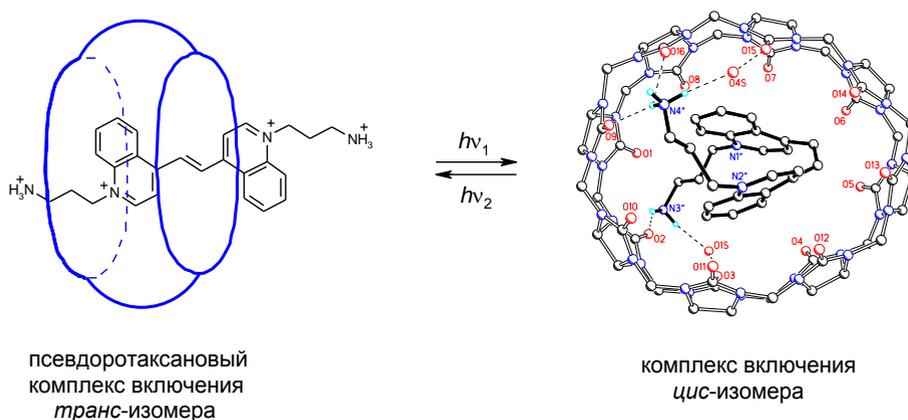


Рис. 3. Фотоуправляемая супрамолекулярная машина на основе псевдоротахсанового комплекса включения *транс*- и *цис*-изомеров непредельного соединения с кукурбитурилом

Пространственное строение такой супрамолекулярной машины после облучения светом (определенное с помощью данных рентгеноструктурного анализа, см. правую часть рис. 3) показывает, что сложное механическое перемещение молекулы-гостя в полости макроцикла-хозяина, напоминающее свертывание в клубок, легко может быть осуществимо.

Оказалось, что в полости кукурбитурила способны разместиться две молекулы стирилового красителя. На рис. 4 представлена структура такого супрамолекулярного псевдоротахсанового комплекса включения. Благоприятное расположение непредельных фрагментов двух молекул красителя в комплексе позволяет при облучении осуществить между ними реакцию фотоциклоприсоединения. Исследования показали, что образовавшийся циклобутан связан с кукурбитурилом менее прочно, чем исходные компоненты, т.е. мы получаем возможность управлять не только механическими перемещениями фотоактивных молекул внутри макроцикла, но и прочностью связывания компонентов.

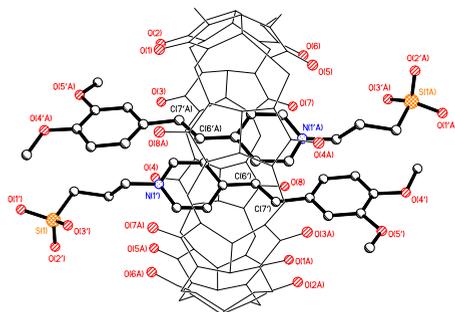


Рис. 4. Расположение двух молекул стирилового красителя в полости кукурбитурила в псевдоротахсановом комплексе включения

Благодаря этому на основе кукурбитурила удалось создать фотоуправляемый супрамолекулярный ассемблер [8]. Ассемблерами называют супрамолекулярные машины, способные направлять химические реакции за счет позиционирования молекул (т.е. «движущаяся часть механизма» здесь — молекулы-гости). В живой природе примером ассемблера, предназначенного для синтеза клеточных белков из аминокислот, служит рибосома. В нашем случае присутствие всего пяти мольных процентов кукурбитурила позволяет осуществить при облучении светом полное стереоспецифическое превращение исходных стироловых красителей в производные циклобутана (функционирование фотоуправляемого супрамолекулярного ассемблера представлено на рис. 5).

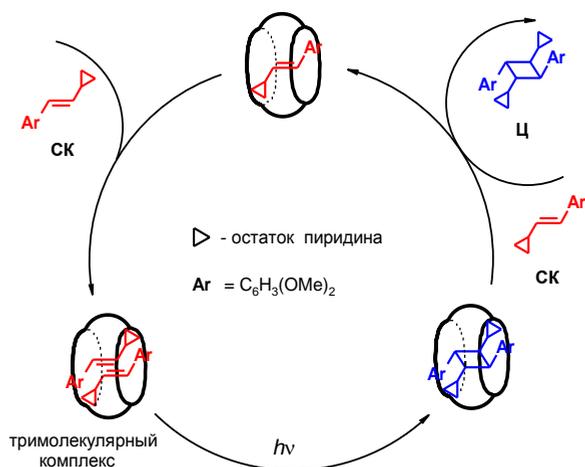
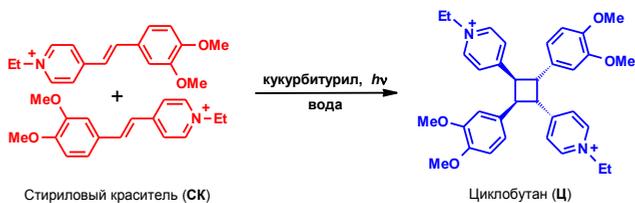


Рис. 5. Фотоуправляемый супрамолекулярный ассемблер на основе кукурбитурила для сборки производных циклобутана из стироловых красителей

Таким образом, с помощью кукурбитурила мы можем собирать тримолекулярные псевдоротаксановые комплексы, осуществлять в этих комплексах при облучении реакцию фотоциклоприсоединения и повторять этот цикл превращений необходимое число раз.

В созданных нами супрамолекулярных системах можно реализовать все основные типы фотопроцессов [1,3,5,9,10].

Все это позволяет говорить о создании на основе непердельных и макроциклических соединений молекулярного конструктора фотоактивных супрамолекулярных систем, обладающего уникальным комплексом необходимых характеристик [1]: 1) доступностью с точки зрения органического синтеза, 2) склонностью к самопроизвольной организации в разнообразные супрамолекулярные архитектуры, 3) свойством в зависимости от структуры претерпевать различные типы фотохимических превращений, 4) способностью к молекулярному фотопереключению с высокой эффективностью. Все это позволяет собирать в растворе, на границе раздела фаз и твердой фазе фотопереключаемые супрамолекулярные устройства, фотоуправляемые супрамолекулярные машины, фотоактивные супрамолекулярные системы с заданной архитектурой и разнообразными свойствами.

Следует обратить внимание на прикладной потенциал проведенных исследований, поскольку они дают новую методологию построения материалов для нанофотоники, что было продемонстрировано прежде всего на примере создания фотопереключаемых супрамолекулярных устройств, фотоуправляемых супрамолекулярных машин, супрамолекулярных переключателей, оптических хемосенсорных материалов, сред для оптической записи и хранения информации [3-5].

Результаты, представленные в данном докладе, были получены главным образом в Центре фотохимии РАН. В то же время в этих исследованиях приняли участие целый ряд Российских научно-исследовательских организаций и университетов Швеции, США, Германии, Великобритании и Италии.

Исследования проводились при финансовой поддержке Российского научного фонда, РФФИ, Российской академии наук, Министерства образования и науки РФ, Московского правительства, фондов Royal Society, INTAS, CRDF, DFG и фонда Сороса.

Авторы выражают также глубокую признательность за присуждение им в 2018 г. Государственной премии РФ по науке и технологиям за разработку фотоактивных супрамолекулярных устройств и машин.

Для тех, кто хотел бы больше узнать об этих исследованиях, обращайтесь на WWW-сервер Центра фотохимии РАН ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” по адресу: <http://suprachem.photonics.ru>.

К публикации работа подготовлена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-13-00020).

Литература

1. *Громов С.П.* Молекулярный конструктор светочувствительных и светоизлучающих наноразмерных систем на основе непердельных и макроциклических соединений. // Изв. АН. Сер. хим. 2008. № 7. С.1299-1323.
2. *Громов С.П., Алфимов М.В.* Супрамолекулярная органическая фотохимия краунсодержащих стироловых красителей. // Изв. РАН. Сер. хим. 1997. № 4. С.641-665.
3. *Ушаков Е.Н., Алфимов М.В., Громов С.П.* Принципы дизайна оптических молекулярных сенсоров и фотоуправляемых рецепторов на основе краун-эфиров. // Усп. хим. 2008. Т.77. С.39-59.

4. Громов С.П. Самосборка и [2+2]-фотоциклоприсоединение с образованием циклобутанов ненасыщенных и макроциклических соединений. // Обзорный журнал по химии. 2011. Т.1. №1. С.3-28.
5. Ушаков Е.Н., Громов С.П. Супрамолекулярные методы управления межмолекулярными реакциями [2+2]-фотоциклоприсоединения непредельных соединений в растворах. // Усп. хим. 2015. Т.84. №8. С.787-802.
6. Gromov S.P., Vedernikov A.I., Lobova N.A., Kuz'mina L.G., Dmitrieva S.N., Strelenko Yu.A., Howard J.A.K. Synthesis, Structure, and Properties of Supramolecular Photoswitches Based on Ammonioalkyl Derivatives of Crown-Ether Styryl Dyes. // J. Org. Chem. 2014. V.79. No.23. P.11416-11430.
7. Kuz'mina L.G., Vedernikov A.I., Lobova N.A., Howard J.A.K., Strelenko Y.A., Fedin V.P., Alfimov M.V., Gromov S.P. Photoinduced and dark complexation of unsaturated viologen analogues containing two ammonium tails with cucurbit[8]uril. // New J. Chem. 2006. V.30. №3. P.458-466.
8. Gromov S.P., Vedernikov A.I., Kuz'mina L.G., Kondratuk D.V., Sazonov S.K., Strelenko Y.A., Alfimov M.V., Howard J.A.K. Photocontrolled molecular assembler based on cucurbit[8]uril: [2+2]-autophotocycloaddition of styryl dyes in solid state and in water. // Eur. J. Org. Chem. 2010. №13. P.2587-2599.
9. Chibisov A.K., Shvedov S.V., Goerner H.J. Photochem. Photobiol. A. Photosensitized processes in dicarbocyanine dyes induced by energy transfer: delayed fluorescence, trans → cis isomerization and electron transfer. // 2001. V.141. P.39-45.
10. Chibisov A.K., Zakharova G.V. Pathways of electron transfer photosensitized by thiocyanine dimers. // Photochem. Photobiol. Sci. 2012. V.11. P.893-897.

Н.Э. Нифантьев¹

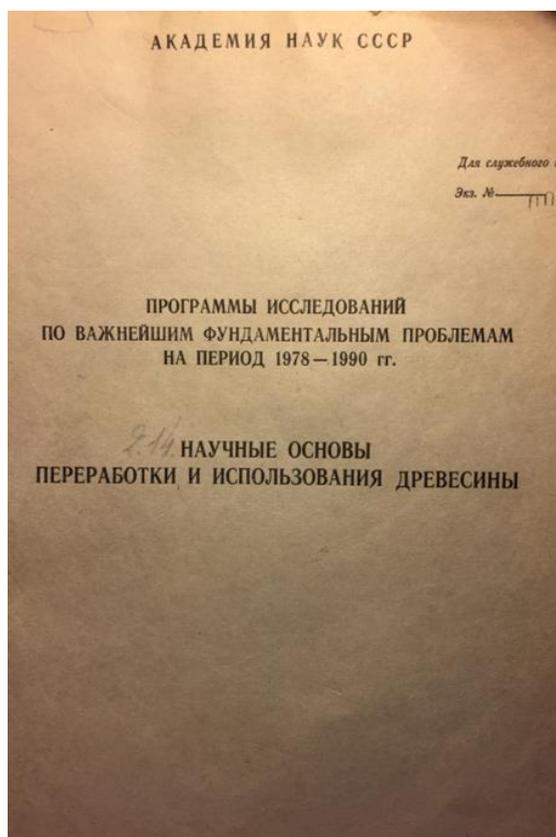
Работы в области лесохимии в институтах Отделения химии и наук о материалах РАН

Дан обзор направлений исследований, проводившихся в академических институтах в областях лесохимии и разработки комплексных схем переработки возобновляемых видов древесного сырья для производства продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Систематические исследования в областях лесохимии и разработки комплексных схем переработки возобновляемых видов древесного сырья для производства продуктов с высокой добавленной стоимостью достаточно последовательно проводятся в академических институтах, относящихся к ОХНМ РАН и ОБН РАН. Исторически эти исследования были направлены, прежде всего, на анализ полезных компонентов древесины и методов их выделения с требуемой для практического использования чистотой, а также на изучение структуры древесины.

Отмечу, что существенным фактором для интенсификации исследований в указанных направлениях в СССР в середине XX века послужило начало строительства вместо целлюлозно-бумажных комбинатов («ЦБК») - Лесопромышленных комплексов («ЛПК») - Архангельского, Котласского, Братского и Усть-Илимского, в которых разрабатывались технологии глубокой переработки древесины (рефайнинг). В АН СССР успешно работали два Научных Совета: «Химия древесины и ее компонентов» (Рига, ИХД) и «Комплексное использование и воспроизводство Лесных ресурсов» (Ленинград, ЛТИ ЦБП), развивались фундаментальная и отраслевая наука с активным участием институтов АН СССР.

¹ Институт органической химии имени Н.Д. Зелинского РАН, член-корреспондент РАН



На фотографии приведена копия титульного листа последней из созданных в АН СССР программ, посвященных разработке научных основ переработки и использованию древесины.

После перестройки исследования в области лесохимии стали менее масштабными, сократились связи промышленными предприятиями, не стало и специализированных государственных программ, предоставлявших адресную поддержку исследований и разработок в обсуждаемой области. Последнее, действительно, существенно усложнило сотрудничество академических институтов с промышленными предприятиями, которые, это надо специально отметить, вступили после перестройки в сложную череду процессов приватизации, слияний и поглощений.

Тем не менее, исследования в области лесохимии с созданием продуктов с высокой добавленной стоимостью не могут не привлекать внимание химиков различных специальностей. И это не случайно, ведь общие мировые запасы биомассы, значительная часть которой является древесной, оцениваются в 800 млрд. тонн, а ежегодно возобновляемая её часть составляет более 200 млрд. тонн. Таким образом, разработка и промышленное внедрение технологий переработки древесины, как химического и биотехнологического сырья, вполне имеет перспективу трансформации в отрасль государственной экономики, сопоставимой с нефтегазовой, электроэнергетикой, машиностроением и другими наиболее масштабными отраслями.

Лесохимические исследования наиболее активно развивались в институтах, расположенных в регионах активной лесозаготовки, особенно в Сибири. Среди таких научных организаций необходимо отметить такие ведущие центры СО РАН как

Институт катализа им. Г.К. Борескова (ИК СО РАН, Новосибирск), Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова (НИОХ СО РАН), Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского (ИрИХ СО РАН), Институт химии и химической технологии (ИХХТ СО РАН; Красноярск), Институт проблем химико-энергетических технологий (ИПХЭТ СО РАН; Бийск). Именно в этих организациях сформировались всемирно известные школы академиков В.Н. Пармона, Г.А. Толстикова, Б.А. Трофимова, Г.В. Саковича и другие, которыми проводились и продолжают проводиться последовательные исследования по изучению общих схем переработки возобновляемого древесного сырья, а также по созданию технологии получения его отдельных компонентов и продуктов на их основе.

Можно отметить и специализацию направленности этих работ. Например, в исследованиях ИК СО РАН сделан акцент на каталитической трансформации древесной массы в синтез-газ, включая каталитический пиролиз, с выходом на сырьё для крупномасштабных химических производств, в частности, процессов Фишера-Тропша. Напротив, в работах НИОХ, ИрИХ и ИХХТ СО РАН, как и в работах институтов из других регионов, главный акцент сделан на создании экстракционных и ректификационных технологий выделения отдельных компонентов древесины. Например, в Институте химии Коми НЦ УрО РАН в Сыктывкаре под руководством чл.-корр. А.В. Кучина предложены схемы эмульсионной экстракции древесной зелени. В работах такого типа целевыми являются относительно низкомолекулярные соединения, являющиеся конечными продуктами и имеющие перспективы использования в качестве химических реагентов, компонентов лекарств, агрохимических препаратов и др. Среди коммерчески перспективных лесохимических продуктов этого типа можно отметить, например, антиоксидант дигидрокверцетин, который сегодня используется в составе более 200 видов пищевой, фармацевтической, ветеринарной, косметической и другой продукции. Другим известным примером является комплекс тритерпеновых кислот, образующийся при переработке древесной зелени пихты сибирской и являющийся перспективнейшим агрохимическим препаратом, пока всё еще ждущим своего масштабного применения, а пока представленный на рынке для малых хозяйств под марками «Новосил» (НИОХ СО РАН) и «Вэрва» (Института химии Коми НЦ УрО РАН). Другими примерами являются работы в Институте органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН в Москве, где в лаборатории чл.-корр. РАН А.М. Моисеенкова разработано выделение древесных пренолов и создан препарат «Фоспренил», а в лаборатории чл.-корр. РАН Н.Э. Нифантьева – разработано экстракционное разделение древесных лигнанов и флавоноидов, создано пилотное производство секоизолаарицирезинола и проводится разработка на его основе противоракового препарата и корректора возрастных изменений организма человека, в том числе ухудшения слуха и снижения гормонального статуса. Конечно же, названным список не ограничивается, а другие перспективнейшие соединения относятся к классам терпеноидов, пренолов, лигнанов, смоляных кислот и многих других типов органических соединений.

Кроме низкомолекулярных веществ, важнейшими и очень ценными компонентами древесины являются биополимеры - полисахариды и лигнин. Отмечу сразу, что лигнин пока не имеет в нашей стране областей для действительно масштабного промышленного использования, хотя в отвалах гидролизных заводов накоплены поистине несметные его количества – только вокруг бывшего гидролизного завода в г. Тулун накоплено около 5 млн. тонн лигнинового отхода прошлого производства, которые заскладированы во рвах, хотя и известны технологии создания на основе лигнина компонентов высококачественных бетонов для крупноэтажного строительства, а также полимерных композиций. Пока же неоднократно начиналась

разработка из лигнина только топливных пеллетов, что так и не доведено до реального производства.

У древесных полисахаридов более успешная судьба, и не только у масштабнейшего биржевого продукта – целлюлозы. Кроме неё, весьма промышленно перспективны гемицеллюлозы и арабиногалактан – ключевой полисахаридный компонент древесины лиственницы. Последний только в Северной Америке производится тысячами тонн, а в России только тоннами в условиях малых предприятий и опытных производств. Широкие фундаментальные и прикладные исследования древесной целлюлозы и арабиногалактана, а также и композиционных материалов на их основе, успешно проводятся школой академика А.А. Берлина в Институте химической физики им Н.Н. Семёнова РАН. Надо также отметить и работы лаборатории чл.-корр. РАН В.Г. Куличихина в Институте нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, где разработана технология получения углеродного волокна из целлюлозы. Очень ценные исследования для создания новых технологий лесопереработки проводятся под руководством академика Н.Э. Ляхова в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН, где предложены новые подходы для твёрдофазной механохимической дезинтеграции древесного сырья, увеличивающей выход при выделении отдельных компонентов древесины.

Необходимо отметить, что кроме разработки методов получения отдельных продуктов из древесины, в академических институтах последовательно развиваются и процессы комплексной переработки древесины, особенно применительно к отдельным её видам. Например, в ИРИХ СО РАН разработана схема комплексной переработки лиственницы, а в ИХХТ СО РАН – берёзы. Внедрение предложенных процессов задерживается из-за отсутствия соответствующих государственных программ и готовности сегодняшних лесоперерабатывающих предприятий к долгосрочному инвестированию в технологии производства новых видов продукции.

Существенный прогресс в этой области мог произойти после 2007 года, когда ГК «Ростехнологии» и входящие в него предприятия, вместе с рядом ведущих академических и ведомственных институтов, начали выполнять пионерский проект по созданию биотехнологического производства продуктов ферментативной переработки древесных полисахаридов в биобутанол и сопутствующие крупномасштабные продукты. Основные организации-исполнители данного амбициозного проекта, одним из участников которого был и автор этой статьи, показаны на рисунке ниже.

Это действительно был замечательный проект, в который были оперативно привлечены специалисты во всех требуемых областях – химики, биотехнологи, инженеры-технологи, экономисты, менеджеры, проектировщики, даже разработчики быстрорастущих видов деревьев, имеющих древесину с низким содержанием лигнина. Была создана пилотная производственная площадка на специально предоставленном для этого Тулунском гидролизном заводе, который был трансформирован в ОАО «Восточно-Сибирский комбинат биотехнологий». Хотя бизнес-план всего проекта показывал действительно впечатляющие производственные перспективы, которые на самом деле могли быть значительно крупнее после организации производства не только биобутанола и сопутствующих соединений, а и продуктов их дальнейшей химической переработки, и хотя были даже подписаны договоры поставок будущей продукции, но проект был заморожен после начала мирового экономического кризиса в 2009 году, вызвавшего падение цен на нефть, а как следствие и мировых цен на целевую продукцию при её получении из нефти.

**ГК «Ростехнологии»:**

ОАО «Корпорация Биотехнологии» (в дальнейшем «РТ-Биотехпром»)
ОАО «ВНИИСинтезБелок»
ОАО «Восточно-Сибирский комбинат биотехнологий» г. Тулун, Иркутская обл.

Институты РАН:

Институт биохимии им. А.Н. Баха
Центр биоинженерии РАН
Институт биологии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина
Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН

Химический факультет МГУ**Курчатовский институт****Прикладные и проектные институты*****Участники «биотопливного» проекта ГК «РОСТЕХ»***

Тем не менее, с 2009 года цена на нефть повышалась и снова понижалась, но несмотря на эти экономические флуктуации, научные и технологические исследования не стояли на месте, а динамично развивались, предлагая всё новые и новые продукты для включения в технологическую цепочку ферментативной переработки древесных полисахаридов. Например, следующим перспективным продуктом биотехнологического производства является изобутанол, который обладает не только улучшенными энергетическими характеристиками, но и является полупродуктом для переработки в ценнейшие продукты, включая изобутилен (мономер для производства каучуков) и п-силлол, годовая потребность в котором только в России превышает 200 тыс. тонн. Работы в этой области плодотворно проводятся под руководством академиков И.И. Моисеева и А.Г. Дедова. Приведенные примеры еще раз свидетельствуют о целесообразности продолжения биотопливного проекта ГК «Ростех» уже базируясь на новейших разработках.

Таким образом, лесохимия в сочетании с современной биотехнологией является перспективнейшим промышленным направлением, способным создать экономически выгодный сегмент национальной экономики. Его построение возможно при синергичном объединении сил государственных и частных предприятий, а также специализированных научных и технологических центров, что, конечно же, требует и наличия соответствующей государственной программы, обеспечивающей софинансирование НИОКР и поддержку создания соответствующих производств. На прошедшем 12 ноября 2018 года Общем собрании Отделения химии и наук о материалах РАН были выступления крупных промышленных корпораций, включая национального лидера в области лесопереработки – АО «Группа Илим». Хочется надеяться, что прошедшее совместное заседание приведёт и к началу плодотворного сотрудничества этого бизнес-гиганта и академических институтов, тем более, что у «Группы Илим» уже имеется опыт сотрудничества с Институтом химической физики им Н.Н. Семёнова РАН и Институтом химии высокомолекулярных соединений РАН, как и с университетами и ведомственными институтами.



**ОТДЕЛЕНИЕ
БИОЛОГИЧЕСКИХ
НАУК**



Повышение продуктивности сельскохозяйственного производства является одной из острых задач, стоящих перед Россией и человечеством в целом. Вся история цивилизации с древнейших времен характеризовалась выведением новых сортов растений и животных. Сначала, на протяжении многих тысячелетий эта задача решалась методами «народной селекции», а в XX в. сформировалась т.н. «научная селекция», объединившая практику народной селекции с достижениями фундаментальной науки. Основы научной селекции в нашей стране были заложены блестящей плеядой ученых, ведущим представителем которых был Н.И. Вавилов. В его работах, в частности, в фундаментальном труде «Теоретические основы селекции», на основании достижений классической генетики были сформулированы основные принципы управления наследственностью организмов. Надо сказать, что эти принципы были очень быстро восприняты селекционерами и результаты начали появляться довольно быстро. Например, урожайность пшеницы, которая на протяжении столетий не превышала 3-4 ц/га начиная с 30х годов XX века начала стремительно расти и к 2000 годам в потенциале составила более 100 ц/га (рис. 1).

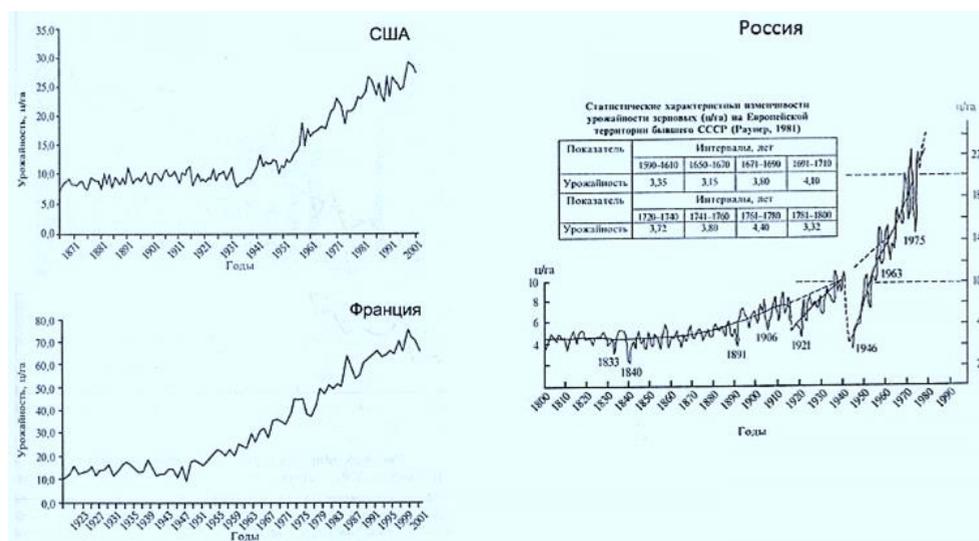


Рис.1. Динамика роста урожайности зерновых культур

Безусловно, здесь сказалось и общее повышение культуры сельского хозяйства: химизация, механизация земледелия, однако общеизвестно, что и на лучшем агрофоне невозможно добиться хорошего урожая, если нет генетического потенциала выращиваемого сорта. Другим удачным примером применения генетических подходов в селекции стала т.н. «зеленая революция». Она совершилась чуть позже, в 40-70-х гг. Здесь внедрение в генофонд пшеницы всего нескольких генов короткостебельности позволило решить проблему по производству пшеницы в южных регионах планеты. По оценкам ЮНЕСКО, «зеленая революция» сохранила жизнь

¹ Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, доктор биологических наук

порядка миллиарда человек. Это те масштабы, которые дает удачно организованная селекция.

Однако к концу XX в. продовольственная проблема вновь приобрела остроту. Не случайно в 2000 г. автор «зеленой революции» американский селекционер Норман Борлоуг, лауреат Нобелевской премии мира 1970 года, заявил, что в XXI в. предстоит вторая «зеленая революция», без которой человечество не сможет обеспечить свое существование. Связано это с тем, что рост численности населения (прежде всего в странах Третьего мира) продолжается, а площади, пригодные для интенсивного земледелия не только не увеличиваются, а, напротив, уменьшаются (рис. 2). При потребности в зерне в день на душу населения 1,5 кг, площадь обрабатываемой земли, составлявшая в 2002 г. 2000 м² к 2050 г упадет до 1350 м².

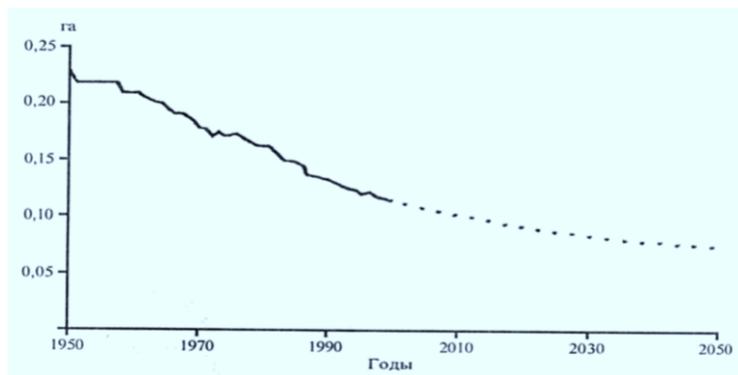


Рис.2. Мировые площади пашни под зерновыми в 1950-1998 г и перспективы на 2050 г.

Единственный выход из этого положения — дальнейшее повышение продуктивности сельскохозяйственного производства, однако не секрет, что уже в XX веке практически достигнут предел продуктивности для многих видов. В сложившейся ситуации только интенсивное внедрение методов фундаментальной генетики может решить эту проблему.

Генетика за последние 30 лет сделала стремительный рывок вперед, связанный, в первую очередь, с появлением нескольких новых методик, позволивших достаточно просто «читать» последовательности ДНК и тем самым непосредственно изучать геномы растений, животных и микроорганизмов. К таким методам относятся: полимеразная цепная реакция, изобретенная в 90-е гг. XX века, а также методы «нового» секвенирования, которые стремительными темпами развивались уже в этом тысячелетии. За последние десять лет их производительность возросла на порядки, а стоимость на порядки упала. Экспериментальные методы дополнила биоинформатика, без которой весь этот огромный объем информации остался бы невостребованным.

Если десять лет назад были известны лишь единицы полных геномов, то сейчас мы имеем полные геномы практически всех «сельскохозяйственных» растений и животных. Более того, эти геномы ресеквенированы множество раз, определены геномы разных представителей одного вида — разных сортов и пород. В результате этих революционных изменений мы начинаем понимать, как функционирует геном, как генетическая информация реализуется в признак.

Таким образом, мы получили новый метод изучения генетического разнообразия на молекулярном уровне, что позволяет лучше и по-новому подбирать исходные пары

для селекции. Большинство геномных данных, полученных исследователями во всем мире, накапливаются в открытых базах данных (например базе NCBI <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) и могут свободно использоваться в научных и практических целях. Конечно, весь этот огромный массив данных оказался востребованным селекцией, по сути, сформировалась селекция нового типа. Она еще не имеет общепризнанного названия, но часто определяется как «постгеномная» селекция, или «next generation breeding».

Что же представляет собой эта «новая» селекция? По сути, это комплекс генетических технологий, базирующихся на знании частной генетики сельскохозяйственных видов. К таким технологиям относятся (рис. 3): маркер-опосредованная селекция, геномная селекция, биотехнологии модификации геномов.

• Частная генетика и геномика сельскохозяйственных видов:

Гены-регуляция-признак * Маркеры-генетические карты * Теоретическая геномика *

• Маркер-опосредованная селекция:

Анализ генетического разнообразия селекционного материала, поиск уникальных аллелей *
Тестирование генов в исходном материале (подбор доноров) * Беккроссирование с отбором по маркерам * Объединение аллелей в потомстве; целенаправленное введение аллелей в потомство ('gene pyramiding') * Отбор гомозигот по доминантным генам в гибридах * и.т.д

• Геномная селекция

• Биотехнология модификации геномов

Генная инженерия (транс и цис-генные модификации) * Сайт направленный мутагенез

Рис. 3. «Новая» селекция (next generation breeding)

В последнее время в самых разных собраниях обсуждаются генетические технологии, причем чаще всего под последними подразумевается прежде всего генетическое редактирование. Да, генетическое редактирование – возможно, самая перспективная, но далеко не единственная из этих технологий. Есть еще и такие, которые используются уже годы, но о них говорится не так много. Можно назвать такие технологии как маркерная селекция, геномная селекция. Существенным отличием разработки новых сортов на основе этих новых технологий является тесное взаимодействие ученых разной специализации. Можно сказать, что если селекция XX века была селекцией одного селекционера, то сейчас это селекция взаимодействия генетиков, работающих в лабораториях, и селекционеров, работающих в поле.

В какой степени эти технологии используются в селекции в Российской Федерации? Только, как отдельные методы, а как система, как технология - нет. Первая и главная из проблем – в России не хватает квалифицированных кадров ни среди генетиков, ни среди селекционеров. Есть отдельные специалисты, которые хорошо понимают методику и то, как работать, но они не всегда взаимодействуют, и их просто недостаточно. Именно поэтому сейчас мы не можем говорить, что «новая» селекция у нас развита в полной мере. А поскольку это так, то надо готовиться к тому, что мы будем неизбежно проигрывать (и уже проигрываем) нашим зарубежным конкурентам. Если мы посмотрим, сколько используется у нас сортов зарубежной селекции, то увидим, что нас теснят. По некоторым культурам мы ещё конкурируем, но далеко не по всем. Поэтому уже сейчас внедрение в селекционный процесс новейших генетических технологий для нас крайне актуально.

Каковы же принципы маркерной и геномной селекции? Вообще говоря, селекция означает отбор полезных признаков у растения или животного. Если в классической

селекции на протяжении всей истории человечества этот отбор проводился по внешнему виду - фенотипу, то в новых технологиях он может быть проведен непосредственно по генотипу, опираясь на структуру генома. Фенотип организма сильно зависит от внешних условий и в классической селекции приходится проводить очень трудоемкие эксперименты (во многих повторах), чтобы «удалить» эту компоненту внешнего влияния. Генотип - всегда один, всегда постоянен. В данном случае селекционер опирается не на морфологические признаки, но на данные, полученные при анализе генетических маркеров. Если мы знаем, как генотип реализуется в фенотип, как работа генов проявляется в признаках, мы можем отбирать непосредственно нужные аллели и получать гарантированный результат. Причем, если признак определяется небольшим количеством генов, можно отбирать нужные нам аллели именно этих генов и это будет маркерная селекция. Если же в реализации признака участвует много генов, функция каждого из которых не всегда однозначна, можно описать весь геном с помощью случайных маркеров, и, отбирая случайные ассоциации этих маркеров, на статистическом уровне понять, какая комбинация дает нужный фенотип, это будет геномная селекция. Использование этих методов увеличивает точность и эффективность селекции (объем анализируемого материала) и способствует ускорению создания новых сортов и гибридов, делает его много дешевле. В мире работают десятки таких лабораторий.

Например, яблоня болеет грибной болезнью – паршой (*Venturia inaequalis*). У домашней яблони (*Malus domestica*) нет устойчивости к парше. Ген устойчивости был около 50 лет назад привнесен в домашнюю яблоню от дикого сородича (*Malus floribunda*), и он сейчас вводится в культурные сорта путем скрещивания устойчивых форм с «классическими» сортами. После такого скрещивания надо оценить: какие из потомков будут устойчивы, а какие нет. Для этого надо сделать большие вложения и финансовые, и трудовые: засадить большую плантацию, ухаживать за ней несколько лет, а потом примерно половину саженцев выбросить, потому что они окажутся неустойчивыми к парше. Зная и маркируя этот ген (*Vf*), на лабораторном столе в течение дня, используя простые методики ПЦР и электрофорез, мы можем отобрать устойчивые формы и выбросить все неустойчивые на уровне семечек. Это хороший и понятный пример маркерной селекции, когда известно какой ген определяет нужный признак и признак моногенный, то есть определяется только одним геном (рис. 4).

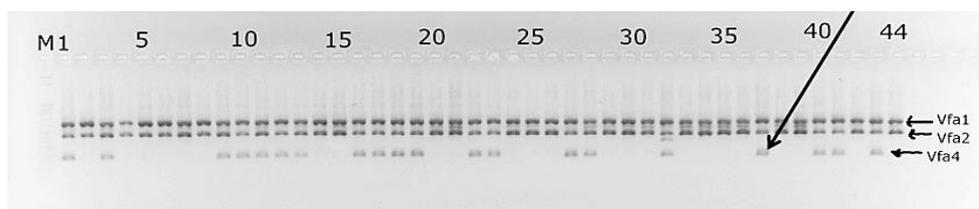


Рис. 4 Маркер-опосредованная селекция (МОС) (marker assisted selection).

Электрофореграмма продуктов амплификации ДНК сортов и гибридов яблони: 1-10 - Кандиль орловский×10-16; 11-20 - Кандиль орловский×11-6-2; 21-30 - 25-2×Болотовское; 31-40 - Успенское×11-6-2; 41-Прима; 42-10-16; 43-Кандиль орловский; 44-11-6-2

В геномной селекции генетики работают с полигенными признаками, не зная, какой именно ген дает вклад в его формирование и какой именно вклад. Однако современные генетические технологии позволяют промаркировать весь геном сотнями тысяч маркеров, а потом сравнивая генотип с фенотипом, методами биоинформатики выявить какие ассоциации геномных маркеров коррелируют с нужными фенотипичес-

кими признаками. Правда, для этого нужно предварительно провести 2-3 тысячи таких «тренировочных» сравнений. Это достаточно дорого, но зато потом хорошо окупается при создании конкурентоспособных сортов и, особенно, гибридов (рис. 5).

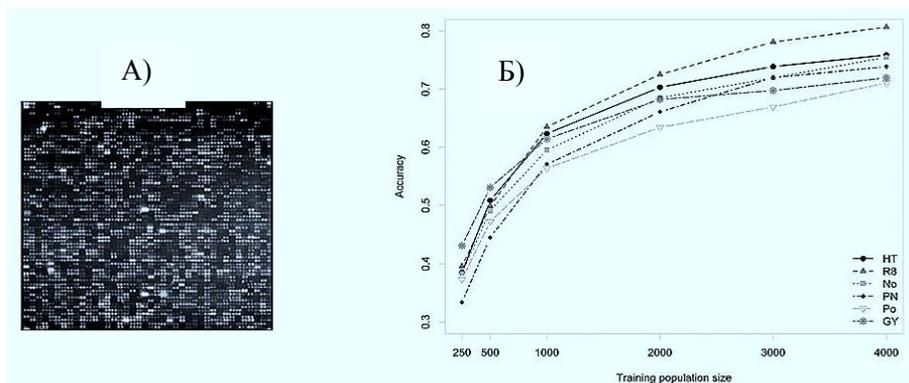


Рис. 5. Геномная селекция. А – геномный микрочип (соя). Б. Влияние размера «тренировочной» популяции на точность для шести признаков сои.

HT - высота растения, R8 - количество дней до созревания, No количество репродуктивных узлов, PN - количество стручков на узел, Po - количество стручков, GY - урожай зерна

О биотехнологии модификации геномов сейчас в обществе говорят больше всего. Это технологии генетической инженерии, а также направленный мутагенез – технология к которой относится и технология геномного редактирования на основе CRISPR – CAS9. Последняя, в отличие от многих генно-инженерных методов, в России еще пока не запрещена к практическому использованию, что дает некоторую надежду и на наши собственные успехи в этой области. Надо сказать, что эта технология только начинает использоваться, но имеет огромный потенциал. Действительно, человечество впервые подходит к возможности конструировать нужные ему организмы. Пока методами геномного редактирования мы умеем только «ломать» конкретные гены. Для того чтобы понять, как их изменить, чтобы они работали по-другому, еще не хватает знаний. Но «сломать» можем, и это уже не мало.

Как не странно, такая «поломка» иногда оказывается очень удачной. Мы «ломаем» один из генов, растение становится устойчивым к патогенам. Мы «ломаем» еще один ген, вырастает размер зерна, а крупное зерно становится более продуктивным. Почему? Да это в общем понятно: потому что в условиях дикой природы растение должно найти баланс между размером зерна и его количеством, чтобы эффективным образом себя размножать. Есть гены, которые ограничивают рост зерна. В сельском хозяйстве мы можем дать растению больше питательных веществ. Оно может формировать крупные зерна, и, ломая этот механизм, имея эти крупные зерна, мы получаем больший урожай. Уже десятки, если не сотни примеров, что сделано в мире с помощью этой технологии. У нас, к сожалению, пока еще очень мало.

И еще одна важнейшая проблема – недостаток квалифицированных кадров. У нас практически не готовятся специализированные кадры в области генетических технологий в применении к сельскому хозяйству. Но именно подготовка таких кадров, программно-генетических технологий предусмотрены Указом Президента РФ. Необходимо готовить кадры на базе ведущих вузов – сначала, может быть, преподавателей (путем повышения квалификации), а потом и студентов.



**ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
НАУК**



Отделением физиологических наук РАН самостоятельно выпущен сборник:

Фундаментальные проблемы диагностики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний. Материалы общего собрания Отделения физиологических наук, 12 ноября 2018 г. / Под ред. В.А. Ткачука и Д.Г. Иоселиани. - М.: Сам полиграфист, 2019, 102 с.

Оглавление сборника

Иоселиани Д.Г. Вступительное слово

Бокерия Л.А. Сердечно-сосудистая хирургия как фактор развития клинической медицины

Синицын В.Е. Роль КТ-ангиографии в диагностике нарушения васкуляризации сердца и коронарного атеросклероза

Терещенко С.Н. Успехи и разочарования в лечении сердечной недостаточности

Семитко С.П., Азаров А.В., Аналеев А.И. Эндоваскулярная хирургия коронарной болезни сердца и приобретенного стеноза устья аорты: история, достижения и перспективы

Бубнова М.Г., Аронов Д.М. Клинические и физиологические аспекты кардиореабилитации

Козлов К.Л., Тишко В.В. Эндотелиальная дисфункция и ее роль в патогенезе коронарного рестеноза

Иоселиани Д.Г., Захарова О.В., Ковалева Е.А. Сочетанные процедуры эндоваскулярного трансортального протезирования аортального клапана (TAVI) и стентирования коронарных артерий у больных аортальным стенозом и ИБС: тактика в отношении последовательности этих двух процедур



**ОТДЕЛЕНИЕ
НАУК О ЗЕМЛЕ**



Введение

В последнее десятилетие геополитические интересы России последовательно перемещаются на Север – в Арктику. Правительство РФ планирует в ближайшей перспективе создать здесь мощный минерально-сырьевой комплекс на основе развития Северного морского пути [1].

Россия занимает первое место в мире среди арктических стран – производителей минерального сырья. При этом детальные металлогенические исследования выполнены лишь для отдельных регионов Российской Арктики, значительная часть которой (более 4 млн. км²) остается слабо изученной в силу трудной доступности.

В России к стратегическим видам минерального сырья относятся полезные ископаемые (минералы, элементы), которые составляют основу отраслей материального производства, обеспечивающих экономическую и оборонную безопасность страны на конкретном этапе ее развития. Распоряжением Правительства РФ (№ 50-р от 16.01.1996 г.) к стратегическим видам минерального сырья относятся: нефть и природный газ, черные металлы (Mn, Cr, Ti), цветные металлы (Cu, Ni, Co, Pb, Mo, W, Sn, Sb), редкие и рассеянные металлы (Zr, Ta, Nb, Be, Y, Sc, Li, Ge, Re), благородные металлы (Au, Ag и платиноиды), а также алмазы и чистое кварцевое сырье. С начала XXI в. из арктических недр добывается огромное количество стратегических металлов – Ni, Cu, Co, MPG, Zn, Pb, Au, Ag, PЗЭ, Ta, Nb, Cr, Ti, и Zr.

Арктический регион знаменит мирового класса Ni-Cu-MPG месторождениями (Норильская группа, Печенгская группа и др.), Pb-Zn-Ag стратиформными месторождениями (Ред Дог, Павловское, Селвин и др.), Sn-W-месторождениями (Терехтах, Депутатское, Пыркакайское и др.). Мировую известность получили также Au-Ag эпитермальные месторождения Чукотки (Купол, Двойное), месторождения титана Телнес в Норвегии, месторождения Au, связанные с интрузивами гранитоидов (Форт Нокс, Пого, Ливенгуд и др.) Аляски, медно-порфировые месторождения (Пебл, Айтик, Песчанка и др.), золото-сульфидные вкрапленных руд (Майское, Донлин Крик, Ключус и др.) и др. (см. рис. 1, 2).

Циркум-Арктический пояс – одна из важнейших глобальных металлогенических структур, формировавшийся на протяжении всей истории Земли, с Архея по Кайнозой. Протяженность внешней границы пояса свыше 12 тыс. км, а ширина варьирует от нескольких сотен до тысяч км (см. рис. 1). В поясе традиционно выделяются следующие национальные сектора: России, США, Канады, Дании (Гренландия), Исландии, Норвегии.

В арктическую зону России (рис. 2), в соответствии с указом Президента РФ (№ 296 от 2 мая 2014 г.), включены: 1) полностью или частично северные территории 9 действующих субъектов: 5 северных улусов Республики Саха (Якутия), Мурманская область (полностью), 3 северных района Республики Карелия (указ Президента РФ № 287 от 27 июня 2017 г.), архипелаг Новая Земля и 3 северных района Архангельской области, территории Таймырского (Долгано-Ненецкого), Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов (полностью), северные территории

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, доктор геолого-минералогических наук

² Заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, Научный руководитель Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, академик РАН

Республики Коми; 2) земли и острова, указанные в Постановлении Президиума ЦИК СССР от 15 апреля 1926 года «Об объявлении территорией СССР земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане»; 3) внутренние морские воды, территориальное море, исключительная экономическая зона и континентальный шельф.

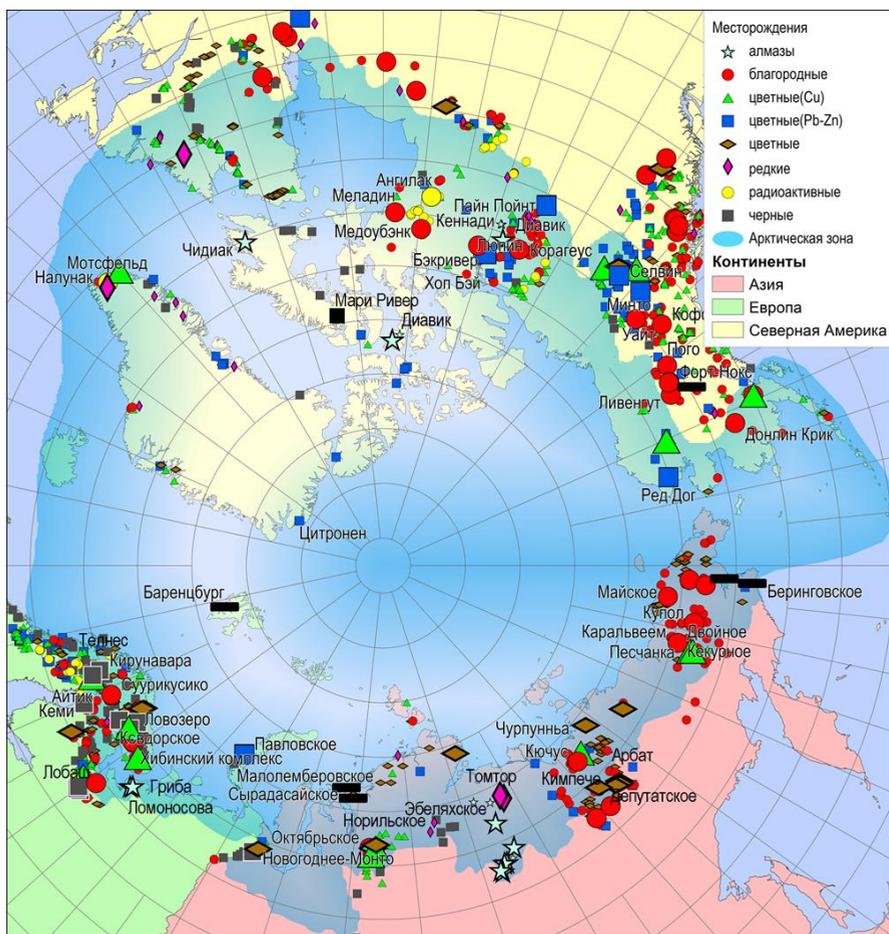


Рис. 1. Распространение месторождений стратегических металлов (по данным ГИС-анализа)

Исследования выполнены по проекту ИГЕМ РАН: «Фундаментальные основы прогноза и поисков месторождений цветных и благородных металлов в арктической зоне России» (руководители: академик Н.С. Бортников, член-корреспондент РАН К.В. Лобанов) в рамках программы Президиума РАН №55 «Арктика – научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития» (координатор академик А.И. Ханчук).

Цель доклада – показать, что горнодобывающая промышленность, несмотря на экологические проблемы, имеет значительные перспективы развития в Арктике, в частности, на территории Арктической зоны России. В ходе подготовки материала изучены многочисленные отечественные и зарубежные публикации, а также данные

сайтов геологических служб, Министерства природных ресурсов РФ, горнодобывающих и геологоразведочных компаний. Подготовлен ГИС-проект, включающий картографический материал и базу данных по отечественным и зарубежным месторождениям Арктического региона.



Рис. 2. Размещение месторождений стратегических металлов в российском секторе Арктики (по данным ГИС-анализа)

1–9 – месторождения твердых полезных ископаемых: 1 – алмазов, 2 – благородных металлов (Pt, Pd, Au, Ag), 3–5 – цветных металлов: 3 – Cu-Mo, 4 – Zn-Pb, 5 – Sn-W, 6 – редкие металлы (РЗМ, Nb, Ta и др.), 7 – урана, 8 – черных металлов (железных и хромовых руд), 9 – угля

Минеральное богатство Арктики

База данных по Арктике включает информацию о размещении более 26 тысяч объектов – рудных и россыпных месторождений, рудопроявлений, точек минерализации, в том числе в России – более 8 тысяч. Среди объектов благородных металлов насчитывается около 400 месторождений, в том числе 33 крупных. В число медных объектов (около 4 тысячи) входят более 350 месторождений, из них – 7 крупных; более тысячи свинцово-цинковых проявлений включая более 200 месторождений, в т.ч. 9 крупных. В состав остальных объектов цветных металлов (более 3 тысяч) входят около 300 месторождений (6 крупных). Группа черных металлов в базе представлена более, чем тысячей объектами, среди которых – более 200 месторождений, включая 9 крупных. Среди проявлений (около 450) редких металлов к месторождениям относятся 74 объекта, из них – 3 крупных. Объектов радиоактивных металлов – более 500, включая 47 месторождений. База данных через координатную систему связана с бесшовной цифровой геологической картой, масштаб которой варьирует от 1:2500000 до 1:50 000 в зависимости от тематики включенных в базу данных слоев.

Несмотря на вековую историю горнодобывающих работ, недра Арктики содержат еще достаточное количество ресурсов стратегических металлов. Однако наибольшее значение для горнодобывающей промышленности в настоящее время имеют – MPG, Ni, Co, Zn, Ti, Ag, Pb, Cr, Au, Cu, РЗЭ и др. (рис. 3).

Для сравнительного анализа по национальным секторам в Арктике количество добытых стратегических металлов оценено в долларах (по среднегодовым ценам на 2017 г. [2, 3]). Такой же сравнительный анализ выполнен и по субъектам Арктической зоны РФ.

Кроме того, результаты по Арктике сопоставлялись с данными по миру в целом (рис. 3), а результаты по российскому сектору с данными по Арктике (рис. 4) и стране в целом. Доля арктического минерального сырья в мировых запасах и добыче вычислялась на основе данных [2]. Доля арктического минерального сырья в запасах и добыче РФ определена с учетом данных [3].

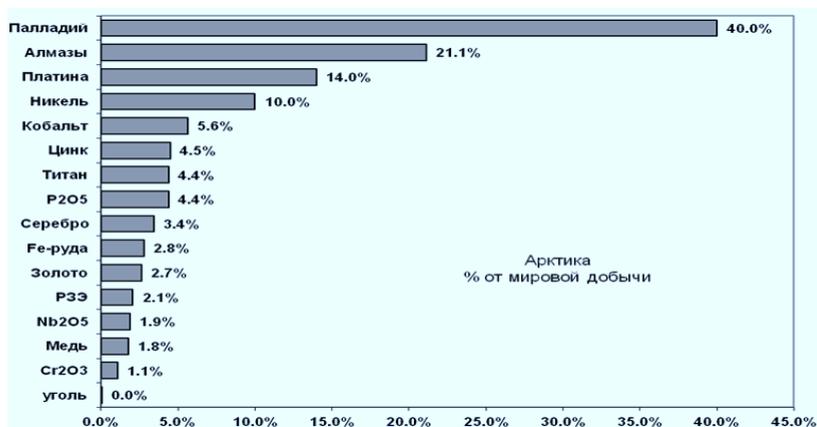


Рис. 3. Добыча стратегических металлов из арктических недр в 2017 году, % от мировой добычи

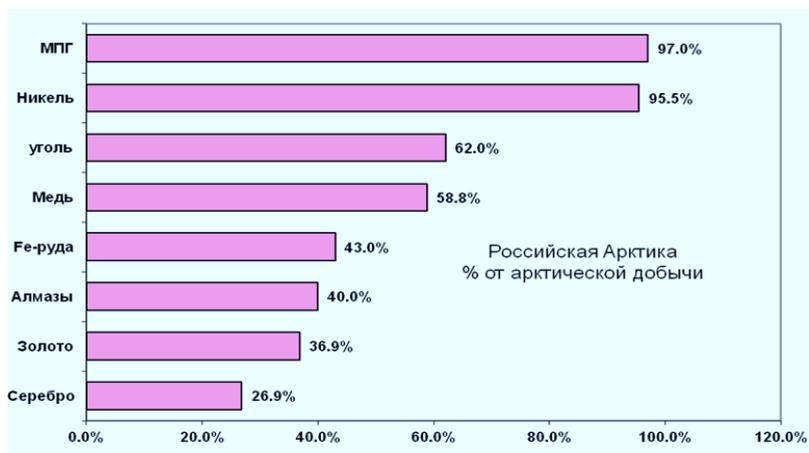


Рис. 4. Добыча стратегических металлов в российском секторе в 2017 г., % от суммарной арктической добычи

Минеральное богатство достаточно равномерно распределено по основным национальным секторам Арктического региона (см. рис. 5). Анализ показал, что Российский сектор занимает лидирующую позицию по суммарной добыче минерального сырья, на втором месте Канада и на третьем с небольшим отставанием США (см. рис. 5). Среди российских регионов по стоимости добываемого сырья лидирует Таймырский округ (ПАО «Норникель»), на втором месте Мурманская область (ПАО «Норникель»), ПАО «Фосагро» и ПАО «Северсталь» на третьем Чукотский АО (Кинросс Голд, ОАО «Полиметалл») (рис. 6). Судя по рисунку 5,

минерально-сырьевой сектор Арктического региона обладает большими перспективами развития – в 1.5–2 раза. Наибольший потенциал роста добычи стратегических металлов можно прогнозировать на практически неосвоенной территории Гренландии (рис. 5).

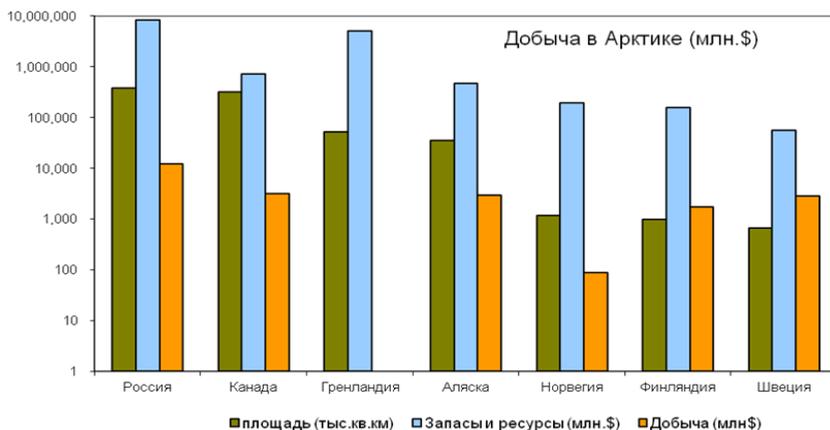


Рис. 5. Добыча, запасы стратегических металлов (2017 г.) и площади национальных секторов в ЦАП

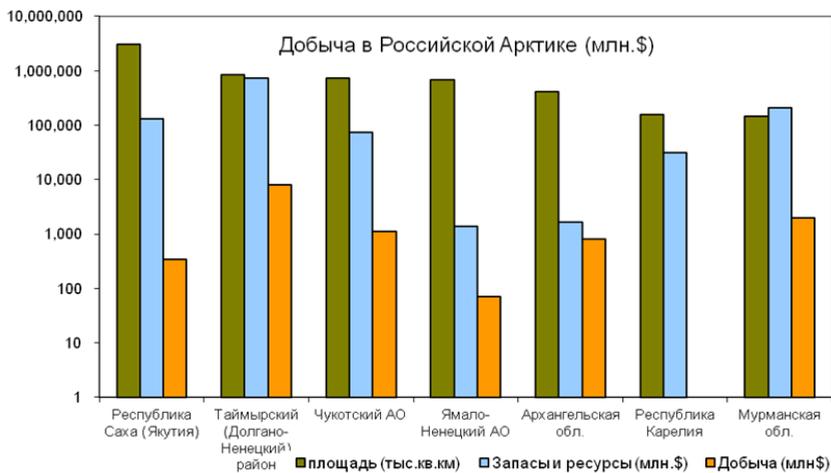


Рис. 6. Добыча, запасы стратегических металлов (2017 г.) и площади субъектов в Арктической зоне России

Высоки перспективы открытия новых крупных месторождений в арктических секторах России, США и Канады. В старопромышленных регионах Скандинавских стран стагнация добычи минерального сырья, скорее всего, продолжится в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Судя по рис. 6, российский минерально-сырьевой сектор обладает большими перспективами развития. Наибольший потенциал роста добычи можно

прогнозировать на практически неосвоенной территории северных улусов Якутии, Таймыре, Чукотке, в Архангельской области (Новая Земля) и Республике Карелии.

Ниже приведены результаты сопоставления в пределах национальных секторов Арктического региона добычи основных видов стратегических металлов и активных запасов, разрабатываемых и подготавливаемых к освоению месторождений.

Черные металлы

Хромовые руды. Добыча хромовых руд в Арктике ведется на месторождении Кеми, северная Финляндия [6] и месторождении Центральное в ЯНАО Россия [3]. Месторождение Кеми представлено стратиформными телами хромитов в расслоенной базит-ультрабазитовой интрузии [6]. В январе 2015 года запасы руды, по данным компании, составляли 48 млн. т с содержанием 25.9% Cr_2O_3 , а минеральные ресурсы, в основном предполагаемые, – 100 млн. т при 29.4% Cr_2O_3 . В 2017 году в Кеми было добыто 2.4 млн. т руды, а обогатительная фабрика извлекла 400 тыс. т кусковых (36% Cr_2O_3) и 850 тыс. т металлургических концентратов (45% Cr_2O_3). Месторождения и рудопроявления хромитов Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) приурочены к альпинотипным гипербазитовым массивам полярного Урала. В пределах массива Рай-Из разведаны два месторождения, на долю которых в совокупности приходится 12.3% запасов хромовых руд страны [3]. Прогнозные ресурсы хромитов в ЯНАО составляют 21% российских. В 2016 году на месторождении Центральной добыто 299 тыс. т хромовой руды, или почти две трети российской добычи [3]. Отметим, что в Мурманской области расположено Сопчеозерское месторождение с запасами 9.5 млн т хромовых руд (почти 19% запасов страны) со средним содержанием Cr_2O_3 25.7%. Так же на территории области выявлено два хромитовых рудопроявления, прогнозные ресурсы категории P_1 которых в сумме составляют 11.9 млн т [3]. Анортзитовый комплекс Фискенесет на западе Гренландии вмещает многочисленные хромитовые тела [5]. Интрузивные тела комплекса, простирающиеся полосой более, чем на 200 км, при средней ширине 400 м, насчитывают суммарные ресурсы около 100 млн. т низкокачественной хромовой руды. Современные и экономически эффективные технологические решения по обогащению убогих высокожелезистых хромовых руд отмеченных выше объектов, позволит, по примеру Финляндии, вовлечь их в освоение.

Цветные металлы

Никель. Доля арктического Ni составляет 10% от производства в мире (рис. 3). За пять лет производство Ni в Арктике снизилось на 4.5% [4]. Добычу Ni в Арктике ведет главным образом Россия и в небольшом количестве – Финляндия. Доля российского Ni составляет в арктических запасах и добыче – 95.5%. В тоже время доля арктического Ni в запасах и добыче РФ составляет 70.5% и 83.3%, соответственно [3]. ПАО «Норникель» эксплуатирует 3 месторождения на севере Красноярского края (Заполярный филиал) и 4 месторождения в Печенгском рудном районе (ОАО «Кольская ГМК»). В 2017 г. Норникель обеспечил почти 93% добычи никеля в стране (217 тыс. т), на 8% меньше относительно предыдущего года, что связано с реконструкцией производства [3]. Потенциальными ресурсами никеля обладает Гренландия, где сульфидно-никелевая минерализация залегает в основных и ультраосновных породах в центральной части Западной Гренландии [5].

Кобальт. Российское производство Co в Арктике (ПАО «Норникель») – 5.6 % мирового производства; активные запасы – 3.3% мировых запасов [2]. Кобальт извлекается попутно при основном производстве Cu и Ni. Доля российского Co составляет в арктических запасах и добыче – 99% (см. рис. 4).

Титан. Арктика (Норвегия) производит около 4.4% мирового титана (рис. 3). Норвегия по запасам титановых руд (4.8%) занимает одно из ведущих мест в мире [2]. Доля российских титановых руд составляет от общих арктических запасов – 42%. В то же время доля арктических руд в запасах титана РФ – около 9% [3]. В Норвегии основной промышленный интерес представляет анортозитовая провинция Эйгерсунн, где известно крупнейшие в Европе месторождение Тельнес с общими запасами ильменита 300 млн т и активными запасами 64 млн. т [4]. В 2017 г здесь добыто 260 тыс. т ильменитового концентрата [2]. Норвежская Nordic Mining ASA планирует освоить уникальное рутиловое месторождение Энгебо. При мощности рудника 10 млн т/год возможно получать ежегодно 200 тыс. т рутилового концентрата, содержащего титан, попутно извлекая гранатовый концентрат [4].

Цинк. Общий объем добычи цинка в Арктике составляет – 4.5% мирового производства (рис. 3), а доля арктических руд в мировых запасах – 3.8% [4]. Добыча в Арктике уменьшилась почти в 2 раза по сравнению с 2002 г [7], что связано с ростом добычи цинка в других регионах мира. Доля российского цинка составляет в арктических запасах – 13% [4]. В то же время доля арктического цинка в запасах РФ невелика – 4.2% [3]. Аляска по-прежнему извлекает почти весь арктический цинк [9]. Рудник Ред Дог – один из крупнейших в мире, по качеству руд превосходит все известные месторождения в 2–3 раза [8]. Однако к 2012 г. основные его запасы были отработаны и карьер рудника перенесен на соседнее месторождение Аккалук, которого хватит до 2031 г [10]. В России разведано всего одно месторождение Павловское (о. Новая Земля), которое по качеству руд сравнимо с зарубежными аналогами [3]. В зарубежной Арктике на стадии разведки находятся многочисленные колчеданные и стратиформные полиметаллические месторождения: Лик в 40 км от рудника Ред Дог (Аляска) [9] и Селвин (Юкон, Канада), а также группа месторождений в районе Хакет Ривер (Нунавут, Канада) [11]. На севере Гренландии в районе фьорда Ситронен разведаны 102 млн т руды при содержании цинка 4.7 % и свинца около 2% [5].

Свинец. Развитие арктической МСБ свинца во многом обусловлено планами по добыче цинка (см. выше). По сравнению с 2002 г. [7] доля арктического производства свинца (Аляска) в мире сократилась в 2 раза (2.37 %), как и цинка. Свинец в Арктике добывается попутно главным образом с цинком (рудник Ред Дог и Грин Крик, Аляска) и в меньшей степени с цинком и медью. Доля российского свинца составляет в арктических запасах почти 18%. В то же время его доля в запасах РФ невелика – 4.3% [3].

Медь. Арктика обеспечивает всего 1.8% от мировой добычи Cu (см. рис. 3), в основном за счет России, и в меньшей степени Швеции и Северной Финляндии [11]. Доля в мировых активных запасах арктической Cu – около 9% [4], лидеры по запасам – Россия и США (Аляска). Следует отметить, что с 2002 г. [7] доля арктической Cu в мировой добыче сократилась почти в 2 раза. Доля российской Cu в арктических запасах и добыче составляет 50.1% и 58.8% (387.64 тыс. т в 2017 г. [3]), соответственно (рис. 4). Доля арктической Cu в запасах и добыче РФ составляет более 40% и 54.4%, соответственно [3]. Причем более 30% активных запасов Cu России сконцентрировано в сульфидных Cu-Ni месторождениях Норильского рудного района: в Октябрьском (более 22% российских запасов меди) и Талнахском (11.6%) [3]. В Чукотском АО запасы меди Cu-Mo-Au-порфинового месторождения Песчанка, составляют 3.7 млн т, или 4% от российских запасов. Кроме того, в недрах Баимской зоны локализовано 5.95 млн т прогнозных ресурсов Cu категории P₁ – почти половина наиболее достоверных ресурсов Cu страны [3]. Cu-Au-порфиговое месторождение Айтик, район Скелет, Шведская Лапландия занимает второе место по добыче Cu в Арктике после Норильска (97.6 тыс. т в 2017 г, по данным «Boliden»). Здесь действует самый большой в Европе карьер. Руды содержат в среднем 0.3 % Cu, 0.1 г/т Au и 2 г/т Ag [11]. Следует отметить, что добыча Cu в ЦАП имеет

значительные перспективы роста. Запасы Cu порфирирового месторождения Пибл (36 млн. т. [9]), как и сопутствующих компонентов в 10 раз больше, чем его российского аналога Песчанки [3]. Однако, началу строительства крупнейшего в мире рудника препятствует значительный экологический риск [9].

Молибден. В Циркум-Арктической зоне разведаны несколько крупных собственно молибденовых месторождений. Кроме того, крупные запасы молибдена подсчитаны в качестве попутного сырья на месторождениях Пибл и Песчанка [3, 9]. Доля российского Мо составляет в арктических запасах 2.36%, а в запасах РФ – 4.7% [4]. На востоке Гренландии выявлено крупное месторождения Малмберг, ресурсы которого превышают 410 тыс. т, а среднее содержание молибдена – 0.15% [5]. В Норвегии, в районе Хурдал добыча молибдена планируется на месторождении Норди. Ресурсы месторождения – 210 млн. т, при среднем содержании молибдена 0.13% [11]. В арктических районах Карелии известно крупное молибденовое месторождение Лобаш (см. рис. 2). Запасы штокверковых руд месторождения по категории C₁ 56.9 тыс. т при среднем содержании молибдена 0.068%; по категории C₂ 71.2 тыс. т 0.059% [13]. Геолого-экономический анализ показывают, что в настоящее время в мире введено в строй несколько крупных молибденовых рудников (США, Канада, Чили, Перу, Австралия и др.), конкурировать с которыми, перечисленные выше, арктические месторождения не могут.

Олово. В Российской арктической зоне сосредоточена крупнейшая МСБ олова в мире [3, 4]. Здесь известны два уникальных оловорудно-россыпных районов: Северо-Янский (Якутия) и Пыркакайский (Чукотка). В 90-е годы добыча олова из рудных месторождений и россыпей в этих районах превышала 15 тыс. т олова в год. В настоящее время добыча олова и вольфрама в них прекращена по экономическим причинам. Доля российского олова составляет в арктических запасах 100%, а в запасах РФ – около 50% [3, 4]. Перспективен на открытие новых оловорудных месторождений и полуостров Стюарт (Аляска) [11].

Вольфрам. В арктической России производство вольфрама остановлено в середине 90-х годов прошлого века, а в Канаде – в 2015 году, в связи с экономической конъюнктурой рынка. Доля российского W составляет в арктических запасах почти 43% [4]. В тоже время его доля в запасах РФ невелика – 5.1% [3]. Основные разведанные запасы коренного и россыпного вольфрама сосредоточены в Иультинском (более 50% всех запасов), Чаунском (24.8%), Шмидтовском и Северо-Янском районах [3]. В случае реанимации этих приисков добыча вольфрама будет возрастать пропорционально добыче олова.

Благородные металлы

В последние годы высокий уровень мировых цен на благородные металлы – основная причина развития геологоразведочных работ и ввода в строй новых рудников в отдаленных районах Арктики (см. рис. 1). Однако, независимо от широкого спектра минеральных богатств, исторически именно золото остается главной целью для геологических исследований в этих районах.

Золото. В современной мировой добыче Au доля Арктики составляет 2.7% (рис. 3), а доля в мировых запасах – более 13.4%. Основная добыча золота сосредоточена в Чукотском АО (Россия) и на Аляске (США); в меньшей степени в Северной Канаде (Нунавут) и Скандинавской Арктике, кроме того, небольшое производство Au существовало до 2013 г. в Гренландии [4]. Попутно Au добывается в заметных количествах из Норильской группы Cu-Ni-месторождений и Cu-Au-порфирирового месторождения Айтик (4.5 т. и 1.7 т. соответственно) [4]. Из россыпей в Арктике добывается ежегодно около 7 т Au (Аляска, Юкон, Чукотка, Якутия). Доля российского Au в арктической добыче в целом составляет 36.9% (рис. 4). В тоже время доля

арктического золота в запасах и добыче РФ составляет 11.2% и 9.75%, соответственно [3]. Перспективы значительного роста золотодобычи в ЦАП связаны с вводом в строй нескольких новых крупных месторождений: Донлин Крик, Левингут и Пебл (Аляска), Песчанка (ЧАО), пяти месторождений в провинции Юкон, двух – в Нунавут и одного – Северные территории (Канада) [4, 11]. В последние годы активные поиски новых месторождений золота проводятся на территории Исландии и Шпицбергена, где обнаружены перспективные рудопроявления [11]. Таймыр – новый, потенциально крупный, золотоносный регион в российской Арктике. Общие ресурсы золота оцениваются в 2000 т [4, 11]. Несколько потенциальных золоторудных районов околитулены на острове Большевик и Северном Таймыре, которые также включают значительное количество россыпей [4].

Несомненный интерес, как вторичный источник золота для формирования россыпей представляют золотоносные конгломераты, известные: на п-ове Челюскин, Таймыр, Северной Карелии, Ветренного пояса (Архангельская область), а также северной Якутии. Золотоносный потенциал арктического шельфа России сопоставим с крупными золотоносными районами страны [4]. Основной объем запасов (более 85%) и ресурсов (не менее 70%) в пределах шельфовой области сосредоточено на островах и вблизи береговой линии.

Платина, палладий. Одна арктическая Россия производит 40% мирового палладия и 14% платины (см. рис. 3). Незначительное количество МПГ добывается в северной Финляндии [4]. Доля российских МПГ в арктической добыче составляет 97% (рис. 4), в запасах – 98% [2, 3]. В тоже время доля арктических МПГ в запасах и добыче РФ составляет 94.6% и 95.4%, соответственно [3]. В российской арктической зоне сравнительно недавно были открыты крупные малосульфидные месторождения МПГ: Масловское, Верхнеталнахское, Норильское, Черногорское и Имангдинское в Норильском районе, Федорово-Панское и Мончегорское на Кольском полуострове [3]. Минерализация золото-медно-палладиевого типа установлена в лавовых потоках долларитов о. Александра Земли Франца Иосифа [14]. На севере Финляндии ресурсы группы месторождений Суханко составили 528 т МПГ ($Pd/Pt = 4/1$) [11]. Шведская компания «Boliden АВ» с 2016 г разрабатывает в этом же районе малосульфидное месторождение Кевитса с запасами МПГ – 65 т и ресурсами – 129 т [4]. В 2017 г добыто 2 т МПГ [15]. Обеспеченность запасами более 20 лет.

Серебро. Арктика извлекает около 3.4% глобального количества серебра (рис. 3); доля в мировых запасах ~ 4%. Около 70% производства приходится на Аляску, 26.9% – на российскую Арктику (рис. 4) и оставшаяся часть принадлежит Скандинавии. Доля арктической серебра в запасах и добыче РФ составляет 11.16% и 13%, соответственно [3]. Все арктическое серебро производится попутно из полиметаллических и золото-серебряных руд. Перспективы развития добычи серебра связаны с освоением полиметаллических месторождений района Хакет Ривер (Нунавут, Канада) Вулканогенные массивные сульфидные (VMS) руды возрастом 2.67 млрд. лет более обогащены серебром (до 3000 г/т) по сравнению с другими подобными месторождениями аналогичного возраста [16].

Радиоактивные, редкие и редкоземельные металлы

Уран. В Арктике уран не добывается, хотя выявлено большое количество месторождений и рудопоявлений. Наиболее перспективно в плане добычи месторождения района Кигавик, расположенного в бассейне Телон северо-восточнее провинции Атабаска (Нунавут, Канада) [11]. Его запасы составляют более 50 тыс. т., а среднее содержание 0.47% урана. В арктической зоне Гренландии известен крупнейший ураноносный район, связанный с многофазным щелочным интрузивным комплексом

Илимаусак, общие ресурсы которого оцениваются в 600 тыс. т. U_3O_8 [5]. Перспективы открытия в пределах арктической зоны России: наиболее перспективна на уран территория слабо изученного Анабарского щита [4].

Ниобий и тантал. Глобальный рост производства стали определяет спрос на Nb, а развитие электронной промышленности (потребляет более 50%) – Ta. Другое основное применение Ta – суперсплавы (в пределах 20%). Добыча Nb и Ta с последующим извлечением осуществляется в ЦАП только из комплексных лопаритовых руд Ловозерского месторождения, которое содержит 30 и 26% балансовых запасов этих металлов в России [3]. Ожидаемый в перспективе высокий уровень спроса на эти металлы со стороны российской промышленности планируется удовлетворить за счет ввода в строй Томторского рудника [3] (см. рис. 2). Однако, геолого-экономические расчеты показывают, что конкурировать с бразильскими месторождениями Томтор может только на условиях преференций, предоставленных государством. В Южной Гренландии в районе Гардар открыто Месторождение Мотзфельд, которое считается одним из крупнейших месторождений тантала в мире. По результатам оценки оно представлено низкосортными пироксоловыми рудами в количестве 600 млн. т [5].

РЗМ. Комплексное Ловозерское месторождение – единственное в России и ЦАП, из руд которого извлекают РЗМ (около 7 тыс. т концентрата в год) [3]. Разведанные запасы РЗМ Ловозерского месторождения, представленные в основном металлами цериевой группы, составляют более 25% российских; среднее содержание суммы оксидов редких земель в рудах – 1.12%. Годовое производство не превышает 2500 т $\sum TR_2O_3$. В последние годы поставки на рынок РФ выросли в 2.2 раза [3]. В рудах нефелин-апатитовых месторождений Хибинской группы, содержится более 40% российских запасов РЗМ, которые из получаемого апатитового концентрата не извлекаются [3]. В мире эта группа уникальных месторождений не имеет аналогов. Другое уникальное Томторское месторождение находится в арктической зоне Якутии. В его пределах разведан только участок Буранный, запасы которого – 0.7% российских. Основные компоненты руд – Nb, РЗМ и Sc. Руды отличаются очень высоким содержанием РЗМ – 7.98% $\sum TR_2O_3$ [3]. Добыча руды на месторождении, по плану Ростеха, должна начаться в 2020 г. Месторождение Кванефельд (Куннесюит) в Гренландии – одно из крупнейших в мире по запасам U и РЗЭ [5], в районе Гардар. Здесь, в последние годы выявлены и разведаны еще 2 месторождения Килават и Аланкуат. В 2015 году компания Greenland Minerals анонсировала новые суммарные ресурсы по трем месторождениям: 1010 млн. т руды, содержат 270 тыс. т U_3O_8 и 11.13 млн. т $\sum TR_2O_3$ [5].

Заключение

Несмотря на вековую историю горнодобывающих работ, недра Арктики содержат еще достаточное количество стратегических металлов. Наибольшее значение для горнодобывающей промышленности в ЦАП в настоящее время имеют – Ni, Cu, Co, MPG, Zn, Pb, Au, Ag, РЗЭ, Ta, Nb, Cr, Ti, и Zr.

Современное состояние минерально-сырьевой базы стратегических металлов в Арктическом регионе вполне удовлетворительное и обеспечивает устойчивое развитие экономики стран в его пределах. Такую же оценку можно дать и по отдельным национальным секторам в Арктике.

Горнодобывающая промышленность, несмотря на экологические проблемы, имеет значительные перспективы развития практически во всех секторах Арктического региона и, в частности, на территории Арктической зоны России.

Несомненно, огромный потенциал еще не открытых месторождений российского сектора заслуживает большего внимания корпорации «Росгеология» и других российских и зарубежных геологоразведочных и горнодобывающих компаний. Здесь возможно

открытие нескольких новых крупных месторождений стратегических видов минерального сырья. Добыча минерального сырья в ЦАП может увеличиться в 1.5-2 раза, это позволяют имеющиеся активные запасы.

Литература

1. Государственная программа РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года». <http://static.government.ru/media/files/GGu3GTtv8bvV8gZxSEAS1R7XmzK6ar.pdf>
2. Mineral Commodity Summaries 2017. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2018, 202 p., <https://doi.org/10.3133/70180197>.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах». М.: ВИМС, 2018, 370 с.
4. *Bortnikov N.S., Lobanov K.V., Volkov A.V. et al.* Strategic Metal Deposits of the Arctic Zone // *Geology of Ore Deposits*. 2015. Vol. 57. No. 6. pp. 433-453.
5. *Волков А.В., Галямов А.Л.* Перспективы горнодобывающей промышленности Гренландии // *Арктика: экология и экономика*. 2016. № 2 (22), с. 24-34.
6. *Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook / V. Juhani Ojala, Pär Weihed, Pasi Eilu and Markku Iljina (eds.)*. Espoo: GTK, 2007, 98 p.
7. *Lindholt L.* Arctic natural resources in a global perspective // Chapter 3 in: *The Economy of the North / Glomsrød S., Aslaksen I. editors*. Oslo: Statistics Norway, 2006, p. 27-37.
8. *Сидоров А.А., Волков А.В.* Освоение ресурсных регионов (на примере Аляски и Чукотского АО) // *Вестник РАН*. 2008. № 10, с. 867-874.
9. *Athey, J.E., Werdon, M.B.* Alaska's mineral industry 2016 // *Alaska Division of Geological & Geophysical Surveys. Special Report 72*. 2017, 65 p. <http://doi.org/10.14509/29748>
10. *Athey J.E., Freeman L.K., Harbo L.A.* Alaska's Mineral Industry 2013 // *Alaska Division of Geological & Geophysical Surveys. Special Report 69*. 2014, 65 p. <http://doi.org/10.14509/29748>
11. *Mineral Resources in the Arctic / Rognvald Boyd, Terje Bjerkgård, Bobo Nordahl, Henrik Schiellerup (editors)*. Geological Survey of Norway. 2016, 484 p.
12. *Додин Д.А., Иванов В.Л., Каминский В.Д.* Российская Арктика – крупная минерально-сырьевая база страны // *Литосфера*. 2008. № 4, с. 76-92.
13. *Щипцов В.В., Иващенко В.И.* Минерально-сырьевой потенциал арктических районов Республики Карелия // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2018. №2, с.3-33.
14. *Склярёв Е.В., Карякин Ю.В., Карманов Н.С. и др.* Минералы платиноидов в долеритах о. Земля Александры (архипелаг Земля Франца-Иосифа) // *Геология и геофизика*. 2016. Т. 57. № 5, с. 1058-1067.
15. *Mineral Deposit Report. Kevitsa*. GTK, 2018, 21 p.
16. *Grant H.L.J., Layton-Matthews D., Peter J.M.* Distribution and Controls on Silver Mineralization in the Hackett River Main Zone, Nunavut, Canada: An Ag- and Pb-enriched Archean Volcanogenic Massive Sulfide Deposit // *Economic Geology*. 2015. Vol. 110, p. 943-982.

А.К. Тулохонов¹

Настоящее и будущее Арктики в Стратегии пространственного развития Российской Федерации: проблемы, риски и решения

В соответствии с законом «О стратегическом планировании» Правительство РФ утвердило Концепцию Стратегии пространственного развития РФ, в которой впервые утверждается, что главным преимуществом нашей страны является ее пространство и степень обустройства. Однако для ее реализации должно быть разработано новое экономико-географическое районирование Российской Арктики, дана оценка и прогноз климатических изменений и в том числе следствия сокращения трассы судов, пересекающих свободное морское пространство по законам ортодромии. Особое внимание следует уделить решению возможных политических конфликтов, возникающих при разделении акватории Арктического сектора. Контрасты социально-экономического развития Аляски и Чукотки свидетельствуют о важности вопросов собственности при использовании природных богатств Арктики, развития рентных отношений и создания новых механизмов природопользования.

Сегодня мы с запозданием начинаем реализовывать идею М.В. Ломоносова о том, что могущество России будет прирастать Сибирью и Северным Ледовитым океаном. Президент страны В.В. Путин в своем обращении к Федеральному Собранию объявил, что XXI век будет посвящен развитию Сибири и Дальнего Востока, где расположена основная часть Российской Арктики. На этой территории и прилегающих регионах проживает менее 4 млн. человек, которые добывают 80% российского газа, 90% никеля и кобальта, 60% меди, почти 100% алмазов, барита и платиноидов, что обеспечивает более 10% валового внутреннего продукта страны и около четверти экспортных поступлений в бюджет.

Следует отметить, что такой потенциал далеко не исчерпывает возможности экономического развития Арктики. По данным МПР РФ изученность российского шельфа составляет 0,24 кв. м. на 1 кв. км общей площади, что 8 раз меньше изученности американского шельфа Чукотского моря и в 16 раз – норвежского шельфа Северного моря. Не лучше обстоит дело с точностью картографического обеспечения Российской Арктики.

Для Арктики принципиально важно разделить понятия природные ресурсы, под которыми понимаются элементы (объекты) природной среды, ориентированные на реализацию в качестве товарной продукции и природные богатства, являющиеся основой комфортного существования общества в окружающей среде и обеспечивающие необходимый уровень жизни местного населения. Любопытно отметить, что в первых постановлениях ЦК КПСС и Совета Министров СССР по охране оз. Байкал с 1960 по 1977 годы использовались понятия «природные богатства» и «природные комплексы» и только последнее постановление от 1987г. уже было сформулировано как «О мерах по обеспечению охраны и рационального использования природных ресурсов бассейна оз. Байкал». Следует полагать, что в плановой экономике документы готовили профессионалы - географы, а затем уже наступило время дикого рынка, где все стало предметом купли – продажи.

Возможно это одна из причин, того, что, имея огромные богатства основная часть населения Арктики проживает в регионах относимых к категории депрессивных субъектов федерации, с уровнем жизни значительно ниже среднероссийских показателей, что в свою очередь ведет к его сокращению и миграции в центр, которое

¹ Научный руководитель Байкальского института природопользования СО РАН, академик РАН

резко возросло в постсоветское время. В поисках решения проблемы демографической ситуации в недрах федеральных структур многие годы разрабатывается закон «О развитии Российской Арктики», государственная программа по Арктике.

Однако в реальности ситуация не улучшается и основным объяснением тому правительство традиционно приводит главный аргумент – недостаток бюджетных средств. В связи с этим можно напомнить, что такая причина была актуальной и в более ранние периоды становления российской экономики. К примеру, если бы не политическая воля П.А. Столыпина, который вопреки своим оппонентам, утверждавшим, что Амурская железная дорога – дорога в никуда, у нас, вероятно, до сих пор шли бы споры о строительстве Транссиба. В не менее жестких условиях нехватки кадров и материальных ресурсов советского времени построены Норильск, Магнитка, Комсомольск-на-Амуре и десятки других промышленных центров – основа современной мощи России в Арктике и на ее восточных рубежах. Вряд ли можно представить, что правительство из-за недостатка финансирования могло остановить строительство в годы первых пятилеток авиационных заводов в Новосибирске, Иркутске, Улан-Удэ, Комсомольск на Амуре и Арсеньеве или переброску оборонных предприятий на восток.

В новых геополитических условиях развитие восточных и северных регионов страны переходит из стадии научных дискуссий в вопрос территориальной целостности государства, сохранения его авторитета в мире. Сокращение населения, падение темпов развития экономики в Сибири и на Дальнем Востоке дают основание нашим политическим конкурентам утверждать, что азиатская часть России, условно относимая к северным (арктическим) территориям, должна принадлежать транснациональным компаниям и на этой «шахматной доске» должны быть другие игроки, которые могут более рационально использовать потенциал Арктики в интересах всего человечества (Бжезинский, 2017).

Поэтому в соответствии с федеральным законом «О стратегическом планировании в РФ» в ближайшее время должна быть разработана и принята Правительством «Стратегия пространственного развития Российской Федерации», концепция которой утверждена в 2017 г. В этом документе впервые на государственном уровне утверждается необходимость рационального использования главного преимущества России – его пространства.

В том же документе впервые акцентируются новые вызовы и риски пространственному развитию страны, в том числе:

- беспрецедентный центростремительный вектор и сжатие экономического пространства;
- невиданные контрасты межрегионального экономического развития;
- геополитическая нестабильность на новом приграничье России;
- коммуникационный разрыв между восточными и западными территориями;
- унификация федерального законодательства в пользу центра, монополия госсобственности и формальный федерализм государственного устройства;
- реализацию проектов альтернативных международных транспортных коридоров в сопредельных странах, снижающих привлекательность транзитного потенциала России;
- увеличение частоты стихийных бедствий в результате происходящих климатических изменений.

Каждый из упомянутых вызовов и рисков более всего относится к развитию Российской Арктики и требует разработки индивидуальных механизмов решения.

Однако прежде всего необходимо определить понятие пространства, которое может быть вместилищем чего-либо, а также культурным, этническим,

интеллектуальным и иным пространством. В данном случае геополитическое пространство есть географический ландшафт и среда обитания общества в контурах определенных государственных структур.

В условиях общей глобальной геополитической нестабильности Россия должна иметь свои веские аргументы в освоении арктических регионов. И в первую очередь определить географические границы Российской Арктики и в том числе границы акватории северных морей и ее островов в условиях юридической неопределенности международного морского права, а также южные контуры своей Арктической зоны, которые определяются по астрономическим, природно-климатическим, социально-экономическим и административным критериям, имеющих сложную географию.

В настоящее время сухопутные территории Арктической зоны Российской Федерации определены Указом Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации». Однако этот документ больше ориентирован на административные границы и не всегда имеет должное научное обоснование в определении степени дискомфорта проживания человека в условиях Севера. По мнению руководства северных регионов, к категории арктических территорий следует отнести еще 3 района Республики Карелия и 8 районов Саха-Якутии. Не менее сложной является и распределение населения России по территориям имеющих различные «северные» надбавки, которые в период плановой экономики были одним из главных стимулов привлечения и сохранения трудовых ресурсов на российской периферии и в первую очередь на стратегических объектах Сибири, Дальнего Востока и Арктики (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1. Север и сухопутные территории Арктической зоны России, территории действия «северных» коэффициентов и надбавок на 01.01.2014 г. ([1]):

- 1 – районы Крайнего Севера; 2 – местности, приравненные к районам Крайнего Севера;
- 3 – территории, не относящиеся к Северу, но получающие «северные» коэффициенты и надбавки; 4 – территории, не относящиеся к Северу и не получающие «северные» коэффициенты и надбавки. Границы: 5 – государственная РФ, 6 – субъектов РФ, 7 – сухопутных территорий Арктической зоны РФ

Таблица 1

Численность населения России, проживающего на Севере и других территориях действия «северных» коэффициентов и надбавок, а также на территориях, где данные коэффициенты и надбавки отсутствуют, в 2010 г. ([1])

Территория	Европейская часть		Азиатская часть		Россия в целом	
	млн. чел.	%	млн. чел.	%	млн. чел.	%
Районы Крайнего Севера	1,4	1,2	2,4	8,3	3,8	2,7
Местности, приравненные к районам Крайнего Севера	2,2	1,9	4,2	14,5	6,4	4,5
Территории, не относящиеся к Северу, но получающие «северные» коэффициенты и надбавки	21,4	18,8	22,4	77,2	43,8	30,6
Территории, где «северные» коэффициенты и надбавки отсутствуют	88,9	78,1	0	0	88,9	62,2
Всего	113,9	100	29,0	100	142,9	100

К сожалению, после процессов приватизации основных отраслей экономики и реализации «майских» указов Президента РФ, «привязавших» зарплату бюджетников к региональным показателям, даже оплата труда технического персонала в Москве превысила доходы полярников и тем самым полностью разрушила систему районных коэффициентов.

По данным [4], при районировании территории Севера России по природным факторам, необходимо выделить не менее 8 зональных факторов с 11 показателями и 3 азональных фактора с 7 показателями природной оценки дискомфорта (рис. 2). Кроме того, существует большое количество социально-экономических критериев оценки сложности проживания человека, включая стоимость продовольственной корзины, удаленность от метрополии и транспортные расходы. Как правило, социально-экономические показатели имеют «плавающие» параметры, определяемые общей экономической ситуацией в стране. Из них наиболее важным является длительность отопительного сезона, определяемого для отдельных муниципальных образований арктических регионов.

Снижение бюджетной поддержки арктических регионов, влечет за собой иные социальные последствия и в том числе меняется образ жизни ее жителей. Сокращение компенсационных выплат на летние авиаперелеты отдыхающих северян резко уменьшило количество поездов в центральные районы, летние отпуска дальневосточники стали больше проводить в Юго-Восточной Азии. В конечном счете страна все более территориально и социально расслаивается и по экономико-географическим признакам. К первой группе принадлежат те, кто по финансовым возможностям может выезжать с севера в теплые края, к второй – кто изредка выезжает на материк, и к третьей группе – не имеющие таких возможностей.

Помимо изменения статей расходов северян такая политика меняет и общий настрой общества. Местные жители удаленных территорий становятся все более автономны и меньше зависят от центра, они никогда не бывали в Москве, у них постепенно исчезает чувство патриотизма, как результат, возникают настроения

сепаратизма. Подобные мотивы подкрепляются поездками на Аляску, в Канаду, на Хоккайдо, где в тех же природных условиях уровень жизни населения значительно выше. И это только малая часть вопросов, которые актуализируют необходимость ускорения разработки государственной программы по Арктике и ее законодательного обеспечения.



Рис. 2. Районирование территории севера России по природному фактору [4]

Теперь непосредственно о теме доклада – Арктике. Прежде всего я должен сказать, что этот материал подготовлен для обсуждения на Арктическом совете при Совете Федерации в составе, которого я работал до 2016 г. Однако за эти два года вряд ли ситуация в Российской Арктике изменилась к лучшему.

Сегодня необходимо признать, что выполнение последних директив Правительства по развитию экономики Сибири, Дальнего Востока и арктических регионов невозможно без проведения нового экономико-географического районирования страны и в том числе введения реально действующих коэффициентов, компенсирующих дискомфортность природных и социальных условий жизни.

Поэтому предлагается определить содержание объекта – Российская Арктика и ее природную и социальную дискретность, предложить объективное экономико-географическое районирование территории вместе с акваторией более половины России.

Вполне понятно, что такая огромная территория, как российская Арктика, включает регионы, резко отличающиеся по природно-климатическим и экономическим условиям, и не может иметь стандартные механизмы ее управления, не адаптированные к природным условиям. С этой точки зрения, целесообразно выделить четыре крупных экономико-географических макрорегиона, которые более однородны для постановки общих целей и задач [5].

На западе расположен Европейский арктический регион, который включает все северные регионы европейской части страны, от Мурманска до Воркуты, в том числе

и Полярный Урал. Принципиально важно отметить, что в этой части страны особое смягчающее влияние на природу оказывает Атлантика и ее теплое течение – Гольфстрим, соответственно здесь менее суровые климатические условия. Другая специфика этой территории заключается в наличии относительно развитой системы железных и автомобильных дорог, связывающих крупные населенные пункты с центром страны. Основной задачей этого региона является закрепление приоритетов и защита интересов России в Западной Арктике. Данный регион является ключевым в торговых отношениях с Европой, для изучения всего Северноморского сектора Российской Арктики.

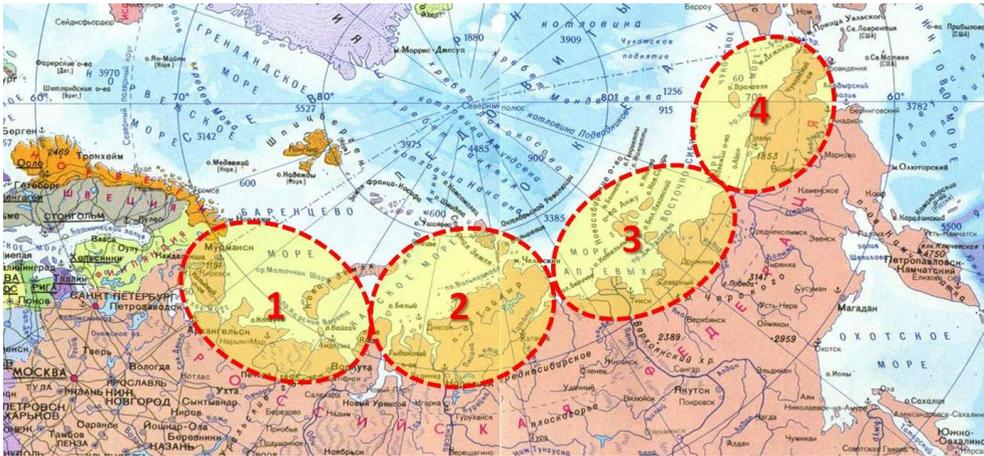


Рис. 3. Районирование Российской Арктики [5]:

- 1 – Европейский арктический регион; 2 – Западно-Сибирская Арктика;
- 3 – Якутская Арктика; 4 – Дальневосточная Арктика

К востоку располагается Западно-Сибирская Арктика, в которую целесообразно включить территории от Полярного Урала до Таймыра. Именно здесь разведаны основные нефтегазовые месторождения, Норильский комбинат поставляет на экспорт основную продукцию редких и цветных металлов. К железнодорожным и автомобильным путям сообщения здесь добавляются Северный морской путь и маршруты по Оби и Енисею в южные районы Сибири. Климатические условия имеют более высокую степень дискомфорта по сравнению с Европейским Севером. В ближайшем будущем этот регион, после освоения акватории Обской губы, может стать основным экспортным углеводородов на мировой рынок.

Следующий арктический регион включает территории, расположенные на севере Якутии, где расположены богатейшие месторождения алмазов, золота, редких металлов и другого стратегического сырья. По дискомфорту климатических условий это максимально неблагоприятная для человека природная среда. Единственные пути сообщения с материком – это авиация, Северный морской путь и в летний период навигация по Лене до БАМа. Суровые климатические условия определяют и сложность прохождения судов на этом отрезке Северного морского пути. В настоящее время это территория резервного освоения Арктики и создания отдельных промышленных кластеров для решения стратегических задач.

На самом востоке расположена Дальневосточная Арктика, или Чукотка, которая имеет выход к двум океанам: Северному Ледовитому и Тихому. Здесь, кроме месторождений твердых полезных ископаемых, по аналогии с Аляской можно

предположить наличие больших запасов углеводородов. В отличие от Арктики на Дальнем Востоке особое значение имеют морские биоресурсы, которые в значительных объемах поставляются в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. При увеличении объемов перевозок по Северному морскому пути здесь должен быть создан крупнейший морской транспортно-логистический центр для обслуживания транзитных судов, следующих из Восточной Азии в Европу и обратно.

Дальневосточный макрорегион резко отличается от Арктики расположением в зоне влияния муссонного климата Тихого океана и преобладанием в экономике сектора морских биоресурсов. При малых возможностях российского потребительского рынка торговля здесь будет все больше развиваться в пользу стран Азиатско-Тихоокеанского побережья. При таком экономическом районировании Якутия и Чукотка должны перейти из программы развития Дальнего Востока в разряд Арктических регионов. Более того, существующая государственная программа «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона» приобретает более цельную ориентацию на внешний рынок за счет включения субъектов, прилегающих к восточным границам России и прежде всего к Китаю.

Определившись с объектом исследования, целесообразно выделить основные приоритеты социально-экономического развития российской Арктики. Недавно принятый Государственной Думой Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» предполагает достаточно сложную процедуру разработки документов стратегического планирования и принципов реалистичности и ресурсной обеспеченности государственных программ экономического развития регионов. К основным документам стратегического планирования, разрабатываемым в рамках целеполагания по отраслевому и территориальному принципу на федеральном уровне, отнесена Стратегия пространственного развития России, в которой особое место должно быть отведено и арктическим территориям.

В Арктике как нигде важен принцип государственного обеспечения производственной и социальной инфраструктуры. Только при таких условиях сюда может вложить свои ресурсы крупный бизнес. Еще на стартовой позиции следует определить интересы государства и частного капитала и найти общие подходы.

Таким образом, возникает задача разработки федерального закона «О развитии Российской Арктики». Из большого числа специфичных для этой территории проблем в законе целесообразно рассмотреть в качестве ключевых вопросы собственности на землю и природные ресурсы, в том числе рентные отношения. Огромные удельные затраты на единицу продукции также предполагают законодательное обеспечение вопросов, касающихся трудовых ресурсов, компенсации расходов на транспорт, изъятия земель, возможных территориальных споров, особых природных условий, проблем коренных народов и др.

Ключевым вопросом в повышении уровня жизни населения является наличие форм собственности и его объемов. В Советском Союзе ведущей формы собственности после революции стала государственная. Именно тогда и появилась известная песня «все вокруг колхозное, все вокруг мое», а точнее – общественное. Его смысл существенно не изменился и после принятия новой Конституции основные природные ресурсы стали именоваться как федеральная собственность, в которой объединяется и собственность регионов.

На просторах российской Арктики, как и везде в России основной формой землевладения является федеральная собственность, которая на участках недропользования на правах аренды переходит к государственным и частным нефтяным и горнодобывающим корпорациям, центральные офисы которых

расположены далеко за пределами Арктики. Соответственно все налоговые отчисления минуют местный бюджет, за исключением расходов на производственную инфраструктуру и благотворительность.

При этом проблема сохранения коренных народов Севера не входит в основные приоритеты программы развития Арктики. По официальным данным, в России насчитывается 40 коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока. Однако в последней переписи уже нет алыторцев и кереков. Таким образом, их число можно ограничить 38 этносами, хотя и эти сведения можно поставить под сомнение.

Принципиально важно отметить, что по российскому законодательству к коренным малочисленным народам Севера, Сибири и Дальнего Востока относятся представители языковых групп численностью менее 50 тыс. чел., выделенных на основании устного заявления в процессе переписи. Как известно, в российских паспортах графа «национальность» отсутствует, а перепись коренного населения ведется довольно условно.

Проблему развития малочисленных народов Севера нельзя рассматривать в отрыве от задач сохранения окружающей среды и в первую очередь поголовья оленей. Между тем создание новых нефтепромыслов и дорожной инфраструктуры значительно уменьшило площадь пастбищ и кормовой базы оленей. Только в Чукотском автономном округе поголовье оленей с 1990 по 2000 гг. уменьшилось с 491 тыс. до 92,1 тыс. голов. За годы рыночной перестройки резко возросла смертность коренного населения, сократилась средняя продолжительность жизни. Кроме социальных болезней, основной причиной разрушения традиционного уклада местных жителей стал алкоголизм, который принимает катастрофические масштабы.

В итоге задача сохранения коренных этносов Севера и есть та «лакумовая бумажка», по которой можно определить эффективность программы освоения Арктики.

При плановой экономике освоение Сибири и Дальнего Востока осуществлялось с использованием принудительного труда Гулага, военных строителей и механизма организации ударных комсомольскихстроек, государственной системы морального и материального поощрения передовиков производства, усилий Министерства среднего машиностроения, которое строило атомные станции и другие важнейшие объекты оборонного значения.

В современных условиях такая «роскошь» уже маловероятна по многим причинам. Прежде всего, нет плановой экономики, романтики комсомольскихстроек, появилось понятие частного капитала, а эффективность современных инвестиций предполагает уже иные подходы. Тем не менее при развитии таких крупных территорий, как Арктика, мы по-прежнему должны быть ориентированы на решение общегосударственных задач. К сожалению, при отсутствии Госплана многие проекты в составе федеральных программ направлены на решение частных региональных задач для отдельных субъектов, в которых стратегические интересы страны уходят на второй план. Более того, получение федеральных бюджетных средств довольно часто превращается в «перетягивание финансового каната» между губернаторами.

Отсюда вытекает принцип, предполагающий специализацию регионов по отдельным видам продукции. При этом в отличие от южных территорий России, где есть трудовые ресурсы, в Арктике не обязательно получение конечного продукта. В связи со значительным увеличением затрат на транспортировку грузов здесь возрастает необходимость более тщательной проработки вопросов логистики. С этой точки зрения могут быть эффективны крупные производственные кластеры, объединяющие разные технологические процессы.

О реальных возможностях и потенциале развития арктических территорий свидетельствует сравнительная характеристика социально-экономических условий Чукотки и Аляски, которые находятся по соседству через Берингов пролив в близких природно-климатических условиях. Вместе с тем уровень жизни населения этих регионов имеет резкие контрасты не в пользу российской Арктики [6].

Здесь главным индикатором является численность населения Аляски, которое в отличие от Чукотки постоянно растет. При росте общей численности населения, более быстрыми темпами растет численность коренного населения Аляски. С 1970 по 2000 гг. она увеличилась вдвое и достигла 100 тыс. чел. (рис. 4, 5). Следует отметить, что для того, чтобы стать официально коренным индейцем в США и в Канаде надо иметь соответствующие документы, тогда как в России такая процедура ликвидирована.



Рис. 4. Динамика численности населения Штата Аляска



Рис. 5. Национальный состав населения Чукотки по данным переписи населения

На Чукотке население и особенно число мигрантов в последние годы катастрофически убывает и составляет в настоящее время около 50 тыс. чел., а количество пришлого населения с 1989 г. сократилось со 108,3 тыс. до 25,1 тыс. человек в 2010 г. На эту численность населения бюджет Чукотки в 2014 г. по доходной статье составляет 15,5 млрд руб., а расходной – 18,2 млрд руб., из которых основную

часть составляют различные дотации, субсидии, субвенции, трансферты и другие преференции из федерального центра.

Сопоставляя некоторые статьи бюджета двух соседних регионов, можно убедиться в том, что разница в доходах на 1 жителя Аляски более чем в 60 раз превышает показатели доходов жителя Чукотки. Другие выводы о стоимости жизни на Чукотке можно сделать из сравнения с бюджетом Бурятии, где проживает около 1 млн чел. На 2015 год доходная статья бюджета Республики утверждена в размере 38 млрд руб., а расходная – в 40 млрд руб. Таким образом, 1 житель Чукотки обходится бюджету почти в 10 раз дороже, чем житель Забайкалья.

Возвращаясь к теме устойчивого развития арктических регионов, естественно задаться вопросом, почему при равных суровых природных условиях и масштабах добычи углеводородного и другого стратегического сырья, сопоставимого с экономикой Аляски, все социальные показатели арктических регионов России значительно ниже и, более того, продолжают ухудшаться.

Первый ответ связан с коррупцией всех уровней власти и бизнеса, лежит на поверхности и не требует особых комментариев. Второй ответ требует изменений в основных правовых документах природопользования и прежде всего введения законодательных ограничений на вывоз капитала из региона и из страны, а также изменения Налогового кодекса в пользу интересов регионов. Третий ответ значительно сложнее и связан с отсутствием эффективного собственника природных богатств, заинтересованного в развитии арктических земель.

Необходимо отметить, что Аляска – это единственный штат в США, где доходы относительно бедной части населения, включая местных индейцев, растут быстрее, чем доходы богатых. Отдельные выплаты осуществляются пенсионерам, что приводит к закреплению населения. Доля населения, постоянно проживающего в условиях Севера более пяти лет, увеличилась на Аляске с 57% в 1970 г. до 77% в 1990 г. и продолжает расти. Об уровне жизни можно судить по количеству частных самолетов и вертолетов – более 9 тыс., что в 14 раз больше, чем на материке.

Такой пример развеивает миф о непригодности арктических регионов для жизни и требует более детального описания основных источников дохода местных жителей самого северного штата Америки. Прежде всего следует упомянуть Постоянный фонд штата Аляска в качестве резерва поддержания благосостояния как существующих, так и будущих поколений жителей штата, когда основные нефтяные запасы иссякнут.

По данным Б.Х. Краснопольского (2005), на начало 2014 г. после 26 лет деятельности фонда он составлял более 26 млрд долл., что в 3,5 раза превышает консолидированный годовой бюджет штата (7,4 млрд долл. в 2002 г.) и значительно больше Стабилизационного фонда России на тот же период. Его основным источником является налог на добычу нефти, налог на собственность, природная рента и корпоративный подоходный налог, связанный с использованием ресурсов только на землях, переданных штату.

В свою очередь фонд состоит из двух частей. Основная часть инвестируется в высокодоходные области экономики и не может быть использована без общего решения всех жителей штата. Другая часть может ежегодно использоваться совместным решением губернатора и Законодательного собрания штата, а 10% этой части фонда направляется на дивиденды всем жителям штата, проживающим на Аляске не менее 1 года.

По статистическим данным, доход на 1 жителя Аляски составлял в 2012 г. – 49,5 тыс. долл., что в сумме на 700 тыс. жителей достигает астрономической суммы 346,5 млрд долл., или почти 14 трлн руб. В конечном счете важнейшим источником благосостояния местных жителей является нефть. Ее среднесуточная добыча

составляет примерно 1 млн баррелей. Для сравнения в России добывается около 1 млн тонн нефти, что в 7,5 раз превышает расчетные показатели Аляски. Таким образом, сопоставимый объем Стабилизационного фонда России мог бы быть в 5 раз больше, чем он был в 2004 г. при использовании опыта Аляски.

Истоки финансового благополучия Аляски, северных штатов Канады в решающей степени предопределяются спецификой прав на землевладение между всеми собственниками. Основной частью земель владеет федеральное правительство – 61%. В состав этих земель входят федеральные земли – 12%, 41% – национальные природоохранные территории и федеральный нефтяной резерв – 7%. Земли штата Аляска составляют 27%. Коренные жители штата – индейцы, объединенные в национальные корпорации, владеют 12% земель и в частном владении находится 1% земли. В то же время при определенных условиях земли могут выкупаться новыми собственниками. Таким образом, государство может увеличивать площадь особо охраняемых природных территорий.

Подобная структура собственников земли предполагает и различие доходной статьи бюджета штата, в которой кроме налогов на земельные ресурсы есть рентные доходы от добывающих корпораций на обслуживание федеральных земель.

При такой земельной и налоговой политике собственник имеет стимул более эффективного использования своих ресурсов. Между тем, при существующем российском правовом вакууме владельцы нефтепромыслов и трубопроводов более всего заинтересованы в быстром получении прибыли при минимальном вложении средств в территорию. Поэтому главной задачей освоения Арктики является создание условий для вложения долгосрочных инвестиций для развития региона. Доход от разработки природных богатств арктических регионов должен стать стимулом для развития местной экономики.

Такие контрасты соседних жителей Чукотки и Аляски особенно демонстрируются в описаниях экспедиции Русского географического общества, посетивших летом этого года небольшой остров Нунивак в 48 км от устья р. Юкон, где проживает всего 200 жителей. Для их существования здесь работает школа, почта, есть церковь и даже полицейский участок. Каждый день с большой земли прилетает небольшой самолет, а грейдер каждый занимается берегоукреплением.

На этом фоне как – то неправдоподобно дико выглядит жизнь на нашем Диксоне, о котором еще совсем недавно слагали песни, и он был одним из ключевых портов на трассе Севморпути. Здесь проживало 6 тыс. человек, из которых к 2015г. осталось 624 человека со средним заработком 34 тыс. руб. При этом килограмм яблок стоит 300 руб., а билет на самолет стоит в одну сторону 11 тыс. руб. и летает на материк он в лучшем случае раз в неделю (Гатаулин, 2015).

В последние годы большое внимание уделяется развитию Северного морского пути, который почти в полтора раза короче расстояния пути от Шанхая в Европу, чем через Суэцкий канал. С потеплением климата и таянием льдов Северного Ледовитого океана перспективы морского судоходства здесь становятся еще более ощутимы.

Расстояние от Гамбурга до Шанхая по Севморпути составляет 10 850 морских миль, а через Суэцкий канал – около 15 000 тыс. морских миль. Кроме того, на многих отрезках южного пути существуют террористические угрозы. Тем не менее, более 90% своих грузовых перевозок Китай осуществляет морским путем и естественно более всех заинтересован в использовании Северного морского пути. Для реализации этой задачи он развивает свой ледокольный флот, активно участвует во всех арктических мероприятиях.

По традиционному маршруту суда в сопровождении ледоколов шли вдоль арктического побережья России и могли попутно обслуживаться в портах вдоль всей

трассы Севморпути. Однако глобальное потепление климата привело к таянию льдов Северного Ледовитого океана и освобождению значительной части морской поверхности от сплошного ледового покрова. В такой ситуации транзитным морским судам становятся более выгодны маршруты на значительном удалении от арктического побережья России, за пределами ее экономической зоны. По законам сферической геометрии кратчайшее расстояние или ортодромия проходит на глобусе от Берингова пролива к северной оконечности Европы ближе к Северному полюсу. Точно также самолеты по маршруту Москва – Владивосток пролетают над Якутией.

В результате Россия теряет свое влияние на прохождение судов из Восточной Азии в Европу по кратчайшему маршруту, сокращается необходимость в ледокольном обслуживании. При увеличении таких перевозок по Севморпути сокращается и объемы двойных грузовых перевалок в наших дальневосточных портах и в использовании Транссиба и БАМа, что и без этого уменьшает транзитное значение российской территории.

Таким образом процессы глобального изменения климата могут внести существенные коррективы в планы развития Российской Арктики. Тем не менее геополитическое значение Арктики для нашей страны огромно. И в первую очередь требует правовой защиты наших претензий на значительную часть полярных и арктических территорий и акватории, где все больше стран заявляет о своих претензиях на те или иные виды морепользования.

В настоящее время в Арктический совет входят страны, имеющие выход к Ледовитому океану. Это Россия, США, Канада, Дания и Норвегия, а также прилегающие к Арктике Швеция, Исландия и Финляндия. В 2013 г. в качестве наблюдателей вошли Италия, Сингапур, Индия, Япония, Южная Корея и Китай далекие от полярного круга. При этом Китай уже в 2003 г. открыл на Шпицбергене научную станцию и активно формирует свой ледокольный флот. Род видом защиты мировых интересов китайцы считают недопустимым желание России единолично использовать природные богатства Арктики. И если «аппетит» транснациональных компаний играть на «шахматной доске Азиатской России» мы еще можем умерить, то российские претензии в морской Арктике, даже при строительстве военных баз, достаточно уязвимы.

Три государства – Россия, Норвегия и Дания подали заявки на арктический шельф, простирающийся за пределы их особой экономической зоны. В заявках России и Дании один и тот же подводный хребет обозначен как продолжение их континентального шельфа.

Как известно, ранее во всех учебниках географии российская территория Арктики определялась секторально по крайнему западному и восточному меридианам сходящимся у полюса, что и зафиксировано в постановлении ЦИК СССР от 15.04.1926 г. и законом РФ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне РФ» от 31.07.1998 г. Согласно этому документу полярный сектор российской Арктики составляет 7.0 млн. кв. км., включая 0,2 млн. кв. км островов и 1,1 млн. кв. км внутренних морских территориальных вод (рис. 6).

В эту площадь входят внутренние морские воды и территориальные воды шириной до 12 миль вдоль российского побережья. При этом исключительная экономическая зона шириной до 200 миль не входит в состав государственных границ и имеет статус открытого моря с преимуществом на добычу полезных ископаемых и рыболовство со смешанным правовым статусом.

Кроме того, Россия, подписав Конвенцию ООН по морскому праву от 1982 г. и в своих заявках от 2001 и 2016 г. претендует на расширение континентального шельфа на 1,2 млн. кв. км. с преимуществом только на добычу полезных ископаемых. Однако

в этом случае Россия, отказавшись от секторального принципа морских границ лишается 1,7 млн. кв. км акватории за пределами исключительной экономической зоны, из которых 1,3 млн. кв. км составляет континентальный шельф и 0,4 млн. кв. км приполюсная акватория.

Следует отметить, что остальные арктические страны не отказываются от секторального принципа разделения Арктики, а США вместе с Германией, Францией, Китаем и Японией предлагают создание «международных» районов в Арктике. Кроме того, еще 150 стран участников Конвенции по морскому праву претендуют на свое присутствие в Арктике.

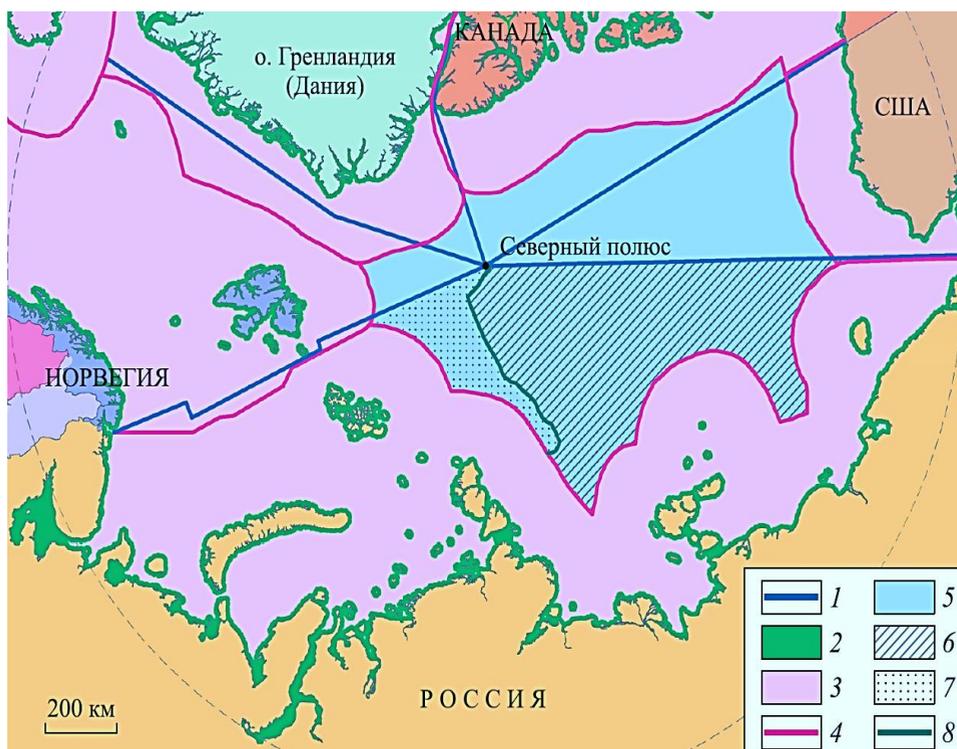


Рис. 6. Делимитация Северного Ледовитого океана по секторальному и конвенционному принципам ([1]):

Делимитация по секторальному принципу: 1 – границы национальных полярных секторов приарктических государств. Делимитация по конвенционному принципу: 2 – внутренние морские и территориальные воды государств, 3 – исключительные экономические зоны государств, 4 – внешние границы исключительных экономических зон государств, 5 – нераспределенные морские пространства.

Предполагаемая делимитация морских пространств полярного сектора России за внешней границей ее исключительной экономической зоны: 6 – участок континентального шельфа, на который претендует Россия; 7 – участок приполюсной акватории, на который Россия не претендует; 8 – граница между участками, на которые Россия претендует и не претендует.

Кроме того, ряд международных организаций предлагает приоритет морепользования в арктических и антарктических водах отдавать государствам, вкладывающих ресурсы в научные программы изучения полярных океанов. В этом случае Россия, которая отказалась в 2015 г. от финансирования программы «Мировой океан» и постоянно реформирующая свою науку не в пользу повышения ее эффективности, теряет свой авторитет в Арктике и Антарктике.

Более того, в результате реформы системы Гидрометслужбы и Российской академии наук количество гидрометеопостов уменьшилось с 4481 в 1986 г. до 3084 в 2006 г. На 30% сократилось количество наблюдений за состоянием морской среды. Академия наук лишилась научного флота. В условиях резкого возрастания природных катастроф, связанных с глобальным потеплением климата и таянием арктических льдов, система гидрометеонаблюдений и прогнозирования становится все менее эффективной. Воистину скупой платит дважды.

В последние годы появилась новая проблема в связи с таянием многолетних пород, в результате которых активно разрушается инфраструктура жилых поселков и линейных сооружений и в первую очередь теплотрасс и нефте- и газопроводов. Появились и первые признаки деградации пластов газогидратов широко распространенных, как в тундре, так и на шельфе полярных морей. Это огромные воронки, образованные в результате взрывной эксплозии парниковых газов при нарушении их стабильного состояния. С одной стороны, это топливо будущего, которое мы еще не умеем использовать, а с другой – новый источник поступления в атмосферу парниковых газов, которые начинают ускорять глобальное потепление климата.

Между тем, японцы и китайцы уже приступили к промышленной добыче газогидратов с морского дна. У нас эта проблема пока не вышла из стадии научного обсуждения, а скоро может быть уже поздно.

В сумме эти обстоятельства свидетельствуют о том, что в проблеме освоения Арктики самым тесным образом сплелись проблемы геополитики, международного права, рационального освоения природных богатств, национальной политики. Необходимо признать, что несмотря на многочисленные политические заявления претензии России на приоритет в освоении северных земель и акваторий не имеют должного научного обоснования, программных документов, подкрепленных должным финансовым обеспечением.

Природа, как и политика не терпит пустоты и это сообщение еще один повод напомнить нашим руководителям о реальном развитии Российской Арктики и об актуальности выражения Александра Третьего, который говорил об этой ситуации еще два века назад.

Литература

1. *Безруков Л.А.* Политико-географические проблемы делимитации Севера и Арктики России // География и природные ресурсы, 2015, № 4, с. 68-80
2. *Гатаулин Р.* Битва за Арктику // Редкие земли. №2 (5) 2015, с. 10-13.
3. *Краснопольский Б.Х.* Механизмы рентных отношений в нефтедобыче: опыт штата Аляска // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2005. №5.
4. *Селин В.С., Вышинская Ю.В.* Нормативное регулирование и комплексное природоохозяйственное районирование Севера и Арктики // Тр. КарНЦ РАН, 2013, №5, с. 31-39.
5. *Тулохонов А.К.* Арктика в новых геополитических координатах: объект, принципы освоения, право // Альманах Российская Арктика: территория права. Вып.11. Сохранение и устойчивое развитие Арктики. Правовые аспекты. Москва – Салехард; ИД «Юриспруденция», 2015, с. 45-55.
6. *Тулохонов А.К.* Политическая география Северной Азии в условиях глобализации, или как обустроить российскую периферию // Улан-Удэ: ЭКОС, 2014, 256 с.

И.Е. Фролов¹

Приоритетные направления научных исследований Арктики и пути их реализации

Освоение и использование Арктики определено как одно из приоритетных направлений в «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года».

Национальными интересами России в Арктике являются [1]:

- использование Арктической зоны в качестве ресурсной базы Российской Федерации;
- сохранение Арктики в качестве зоны мира и сотрудничества;
- сбережение уникальных экологических систем Арктики;
- использование Северного морского пути (СМП) в качестве национальной транспортной коммуникации в Арктике.

Природные ресурсы Арктики уникальны. Нефть, природный газ и газовый конденсат – наиболее значимый для российской экономики ресурс, запасы которого в российской Арктике превышают 60% от всех арктических ресурсов углеводородов. Особенно богат залежами углеводородов Арктический шельф России [2]. Промышленную разработку ведет пока только ПАО «Газпром нефть» на месторождении «Приразломное» в Печорском море. К 2020 г. планируется довести добычу нефти до 5 млн. т НК «Роснефть» провела разведочное бурение в Карском море на месторождении «Победа» с извлекаемыми запасами в 130 млн. т нефти 500 млрд. м³ газа. Сохраняет актуальность и проект разработки Штокмановского месторождения с извлекаемыми запасами газа 3,9 трлн. м³ и 56,1 млн. т газового конденсата. «Роснефть» разворачивает работы на десятках лицензионных участках на шельфе восточной Арктики. Так, в море Лаптевых запасы нефти оцениваются в 9,5 млрд. т.

Недра Арктики богаты также запасами драгоценных, редкоземельных и цветных металлов. По данным УК «ВостокУголь» в 2015 г. на Таймыре запущен масштабный проект по разработке уникальных угольных месторождений: в 2018-2019 гг. планируется добывать 5-10 млн. т в год высококачественного сырья, а к 2023-2025 гг. выйти на добычу в 30 млн.т в год. В Арктике сосредоточена пятая часть общемирового запаса пресной воды. Арктика богата также и биологическими ресурсами, ряд которых имеет хозяйственную ценность для жителей этого сурового края.

Освоение ресурсов Арктики в ближайшие годы приведет к увеличению объемов перевозок по СМП. В 80-е годы прошлого века объем перевозок по СМП составлял 6,5 млн. т в год, к концу 90-х годов упал до 1,5-2,0 млн. т, а начиная с 2000-х годов стал расти, и уже к 2016 г. объем перевозок достиг уровня 80-х годов, а к 2018 г. вырос до 18-19 млн. т. По экспертным данным к 2024 г. ожидается рост объема перевозок по СМП от 40 до 80 млн. т в год, в основном за счет транспортировки углеводородов и угля. Кратное увеличение грузооборота по национальной транспортной магистрали потребует развития инфраструктуры СМП. Это, прежде всего, модернизация арктических портовых сооружений, развитие навигационно-гидрографического, гидрометеорологического и аварийно-спасательного обеспечения судоходства в акватории СМП и, конечно, строительство достаточного количества ледоколов и судов усиленного ледового класса, способных обеспечить круглогодичную навигацию по СМП, включая обслуживание буровых платформ в специфических условиях Севера.

¹ Научный руководитель ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета, член-корреспондент РАН

К особенностям Арктики относятся:

- экстремальные природно-климатические условия, включая наличие ледяного покрова в арктических морях большую часть года;
- низкая устойчивость экологических систем, определяющих биологическое равновесие и климат Земли, и их зависимость даже от незначительных антропогенных воздействий;
- высокие финансовые затраты на организацию, развитие и поддержание научной инфраструктуры и проведение мониторинга природной среды, а также проведение морских экспедиций.

Сложные природно-климатические условия Арктики создают высокие природные риски для хозяйственной деятельности в Арктике и существенно влияют на ее экономическую эффективность [3]. Это относится к освоению минеральных и энергетических ресурсов, мореплаванию по СМП, рыболовству, энергетике и связи. В последние десятилетия отмечается рост количества опасных природных явлений в Арктике: гидрометеорологические – шторма, туманы, снегопады, ветровые нагоны, наводнения и маловодность на арктических реках; климатические – сезонное таяние мерзлоты, разрушение берегов; ледовые – обледенение судов, сжатие льда, сильный дрейф льда, навалы льда на берега и морские сооружения, айсберговая опасность; геофизические – геомагнитные возмущения в ионосфере и магнитосфере, истощение озонового слоя.

Рост количества опасных гидрометеорологических явлений обычно связывают с процессами глобального потепления, которые в Арктике проявляются наиболее значимо. Ретроспективный анализ данных арктической гидрометеорологической сети демонстрирует существенные изменения в климатической системе Арктики. С 80-х годов прошлого столетия продолжается рост аномалий среднегодовой температуры воздуха в районах арктических морей и над сушей, наблюдается тенденция уменьшения повторяемости атмосферных циклонических процессов в Арктике, уменьшилась площадь дрейфующих льдов в Северном Ледовитом океане (СЛО) почти на 2 млн. км², растет температура воды атлантических вод, уменьшилась соленость поверхностного слоя вод в Канадском бассейне СЛО [4-6].

Функционирование существующей инфраструктуры в Арктике и, тем более, реализация планов ее модернизации и развития существенным образом зависит от изменения погодных и климатических условий [7]. Большая чувствительность природной среды Арктики к вариациям климата требует развития региональных и локальных прогностических моделей для предсказания изменений состояния природных сред с заблаговременностью от нескольких часов до десятилетий. На основе таких моделей должны быть разработаны информационные системы гидрометеорологической и экологической безопасности для обеспечения управления, минимизации рисков и эффективной работы различных направлений хозяйственной деятельности (плавание по СМП, добывающие платформы на арктическом шельфе, строительство объектов в Арктической зоне и др.). Развитие этих систем должно быть опережающим, предшествующим промышленному освоению.

В ГНЦ РФ ААНИИ Росгидромета в 80-е годы прошлого столетия для мониторинга ледовых и гидрометеорологических условий и оперативного гидрометобеспечения плавания в Арктике была создана ведомственная автоматизированная ледово-информационная система («Север») [8, 9]. В рамках этой системы осуществляется сбор, обработка и анализ исходных данных о состоянии природной среды, дается краткосрочный прогноз погоды и ледовой обстановки по трассе СМП, а также рекомендованные пути движения судов. Эта система эффективно действует и сегодня,

однако, в связи с планируемым увеличением грузооборота по трассе СМП многие элементы системы требуют развития.

При обосновании концепции освоения арктических месторождений углеводородов по заказу «Роснефти» ААНИИ выполнил широкомасштабные исследования айсберговой опасности в Баренцевом и Карском морях с целью создания информационных систем управления ледовой обстановкой, включающей элементы получения, обработки, анализа данных и прогноза ледовой обстановки, а также активного воздействия на дрейфующий лед и айсберги [10]. Аналогичную систему для обеспечения месторождения «Приразломное» планирует создать и «Газпром нефть».

Операции в Обской губе по вывозу СПГ также требуют разработки локальных систем обеспечения гидрометеорологической и ледовой безопасности.

Очевидно, что создание подобных систем управления должно опираться на единую государственную сеть наблюдений и национальные прогностические центры с учетом специфики требований каждого заказчика. В целях развития критических технологий мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения путем разработки и совершенствования методов анализа гидрометеорологических, геофизических полей и опасных явлений, математического моделирования их динамики и прогноза, а также создания баз данных геопространственных информационных ресурсов, в том числе на основе космических систем, необходимо проводить научные исследования всех природных сред от верхней атмосферы до дна океана с учетом их взаимодействия [11].

Перечисленные направления научных исследований являются приоритетными не только для российских ученых, но и для зарубежных коллег из приарктических и соседних государств.

Существует целый ряд международных научных программ, в которых участвует Россия:

- «Год полярного прогнозирования» - проект ВМО направлен на совершенствование методов описания в пограничном слое атмосферы и на подстилающей поверхности для прогностических и климатических моделей;
- «Мониторинг парниковых газов и изучение процессов, определяющих увеличение их концентрации в атмосфере» (Киотский протокол);
- Загрязнение Арктики, локальное и вследствие дальнего переноса, программа АМАР (Арктический Совет);
- международная программа Арктических буев (IABP) под эгидой ВМО;
- международный проект «Роль Солнца и средней атмосферы/термосферы/ионосферы в изменениях климата (ROSMIC)»;
- и др.

Представителями приарктических государств создана Международная сеть арктических обсерваторий с целью проведения комплексных исследований, практически, по всем направлениям наук о Земле с оперативным обменом данными между странами-участницами.

Участником Международной сети арктических обсерваторий (рис. 1) с 2012 г. является гидрометеорологическая обсерватория Тикси [12].

В последние годы наиболее полные комплексные исследования природной среды Арктики проводятся в четырех полярных обсерваториях: ГМО Тикси (ГНЦ РФ ААНИИ Росгидромета), НИС «Ледовая база «Мыс Баранова» (ГНЦ РФ ААНИИ Росгидромета), Российский научный центр на архипелаге Шпицберген (ГНЦ РФ ААНИИ Росгидромета), НИС «Остров Самойловский» (СО РАН). В этих обсерваториях проводят свои исследования по различным научным программам сотрудники институтов РАН Минобрнауки, Росгидромета, Минприроды, а также

представители зарубежных научных организаций США, Германии, Финляндии, Кореи, Норвегии и др., что позволяет использовать наиболее передовые современные технологии, приборы и оборудование при производстве специальных наблюдений за состоянием природной среды в Арктике.

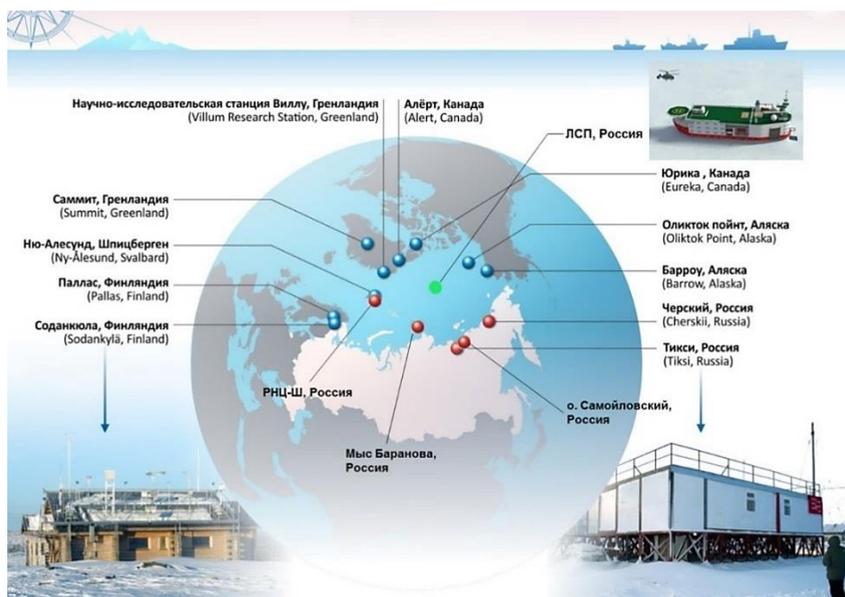


Рис. 1. Международная сеть климатических обсерваторий

Введение в 2021 г. (в год начала Десятилетия наук об океане, объявленного МОК ЮНЕСКО) в эксплуатацию самодвижущейся ледовой платформы «Северный Полюс» позволит осуществить технологический рывок в организации экспедиционной деятельности в Арктике, предоставит новые возможности для проведения наблюдений в акватории СЛО (рис. 2).



Рис. 2. Ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс»

Существующие международные наблюдательные сети, при условии участия России, открывают доступ к данным, имеющим глобальный охват:

- Глобальная служба атмосферы;
- Международная сеть полярных обсерваторий;
- Базовая сеть наземных радиационных наблюдений;
- Базовая сеть наблюдений за климатом;
- Глобальная сеть наблюдений за вечной мерзлотой;
- Глобальная служба криосферы;
- Сеть лидарных наблюдений за облачностью и аэрозолями и др.

Сегодня в арктических морях ежегодно проводят экспедиции научных судов РАН, Минобрнауки, Росгидромета, МПР и др. Морские экспедиции являются частью пространственно-распределенной наблюдательной сети природных процессов в Арктике. В наблюдательную сеть входят также данные, получаемые с дрейфующих буев (АРГОС и ИТР).

Целью исследований, базирующихся на данных, полученных от наблюдательных сетей, является:

- определение современного состояния компонент арктической климатической и экологической систем Арктики;
- углубление представлений о механизмах формирования погодных, климатических и экологических процессов в Арктике.

Развитие сетей наблюдений за параметрами окружающей среды на основе внедрения современных приборов и оборудования дает возможность получения новых данных о:

- гидрометеорологических и геофизических процессах в климатически активных районах Арктического региона;
- метеорологических, гляциологических и гидрохимических условиях, сложившихся в Арктике в начале XXI века;
- радиационных процессах в системе «атмосфера - морской лед - верхний слой моря»;
- структуре и динамике водных масс и ледяного покрова морей СЛО;
- изменениях в природной среде региона под влиянием изменения климата;
- загрязненности природной среды и процессах переноса и трансформации загрязняющих веществ.

В перспективе необходим переход к единой скоординированной программе наблюдений для пространственно-распределенной сети в Арктике с использованием всеми участниками научных исследований согласованных методов наблюдений и совместимых технических средств. Такая программа наблюдений может быть создана в рамках подготовки более общего национального проекта «Природная среда Арктики» (название условное), к подготовке которого на межведомственном уровне под руководством РАН следует приступить уже сегодня. Речь идет о разработке комплексной научно-технической программы (КНТП) и проектах полного инновационного цикла (возможно включение в национальный проект «Наука»).

Участниками разработки и реализации такой программы должны стать представители научных организаций и высших учебных организаций различных ведомств, имеющие научные достижения и компетенции в исследованиях полярных регионов, разработке современных методов диагноза и прогнозирования погоды, климата и состояния морей в Арктике.

Предлагаю Научному совету РАН по изучению Арктики и Антарктики принять активное участие в создании этих программ, при этом включив в состав Совета ведущих ученых и специалистов, имеющих компетенции и научные работы в области

исследований природы полярных регионов Земли и создания информационных интеллектуальных систем управления.

Следует напомнить, что научная компонента программы и отдельные арктические проекты были сформулированы научными организациями в рамках подготовки ФЦП «Мировой океан», которая до сих пор не состоялась. Это обстоятельство может существенно ускорить организацию подготовки КНТП. Создание и реализация такой программы возможны при условии определения организационной структуры в форме консорциума научных организаций по аналогии с созданным консорциумом «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген» (рис. 3).



Рис. 3. Пример создания и реализации национальной комплексной программы научных исследований на архипелаге Шпицберген

В заключение следует отметить, что в рамках КНТП «Природная среда Арктики» могут быть решены следующие задачи:

- разработки и внедрения национальной системы сбора, обработки, хранения и обеспечения доступа к первичной информации о природной среде Арктики, полученной организациями различной ведомственной принадлежности и форм собственности;
- разработки иерархии информационных диагностических и прогностических систем состояния природной среды Арктики и специализированных информационных интеллектуальных систем управления различными видами хозяйственной деятельности;
- усовершенствования существующих и разработки новых методов диагноза и прогноза текущего и климатического состояния природных сред Арктики (от ионосферы до придонных вод СЛО);
- повышения эффективности проведения исследований в полярных регионах за счет координации и межведомственной кооперации;
- эффективного планирования и реализации дорогостоящих арктических экспедиций, совместного использования и развития существующей инфраструктуры;
- повышения эффективности международного сотрудничества в Арктике и сохранение лидирующих позиций России в исследованиях полярных регионов Земли;
- обеспечения сохранения уникальных экологических систем Арктики;

- повышения эффективности использования СМП;
- минимизации ущерба природе Арктики при использовании Арктической зоны в качестве ресурсной базы Российской Федерации.

Литература

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу.
2. Каминский В.Д., Супруненко О.И., Смирнов А.Н. Минерально-сырьевые ресурсы арктической континентальной окраины России и перспективы их освоения. Арктика: экология и экономика. 2014. №3 (15).
3. Danilov A.I., Klepikov A.V., Frolov I.E. Natural and climatic Risks in the Arctic. Исследования по геоинформатике: Тр. Геофизического центра РАН. 2016. Т.4, №2.
4. Тимохов Л.А., Фролов И.Е., Кассенс Х., Карпий В.Ю., Лебедев Н.В., Малиновский С.Ю., Поляков И.В., Халиманн Е. Изменения термохалинных характеристик трансполярной системы Северного Ледовитого океана. Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. №2 (108).
5. L.A.Timokhov, I.E.Frolov, V.V.Ivanov, H.Kassens, N.V.Lebedev, J.Holemann. Climatic Changes in the Dynamic Topography and Geostrophic Circulation of the Arctic Ocean. Doklady Earth Sciences. 2018. № 480(1).
6. Z. Gudkovich, V. Radionov, A. Shirokov, L. Timokhov, I. Frolov. The Arctic Basin. Results from the Russian Drifting Stations. Praxis Publ. Ltd, Chichester, UK. 2005.
7. Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Фролов И.Е. и др. Контроль состояния окружающей природной среды при освоении минерально-сырьевых ресурсов внутренних морских вод, территориального моря и континентального шельфа Российской Федерации. Право и безопасность. 2007. №1-2(22-23).
8. Степанов В.В., Фролов И.Е. Способ оперативного гидрометеорологического ледового обеспечения и ледово-информационная система для его осуществления. Патент на изобретение № 2602428. 2016.
9. Бресткин С.В., Быченков Ю.Д., Девятаев О.С., Фоломеев О.В. Специализированное гидрометеорологическое обеспечение морских операций в Арктике – система Север». Российские полярные исследования: инф.-аналит. сб. ГНЦ РФ ААНИИ. 2013. №4 (14).
10. Бузин И.В., Глазовский А.Ф., Гудошников Ю.П., Данилов А.И., Дмитриев Н.Е., Зубакин Г.К., Кубышкин Н.В., Наумов А.К., Нестеров А.В., Скутин А.А., Скучина Е.А., Шибакин С.И. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет. Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. №1 (78).
11. Taneil Uttal, Alexander Makshtas, Tuomas Laurila. The Tiksi International Hydrometeorological Observatory – an Arctic members Partnership. Bulletin (The journal of the World Meteorological Organization). 2013. vol.62 (1).

М.А. Федонкин¹, С.Г. Сколотнев², Е.И. Петров³, А.В. Корнийчук⁴ **Глубоководные геологические исследования поднятия Менделеева, Северный Ледовитый океан (2014-2016 гг.)**

Важной геополитической задачей Российской Федерации является доказательство принадлежности к российскому шельфу глубоководной восточной части ложа Северного Ледовитого океана (СЛО) площадью около 1 200 000 км². Сюда относятся комплекс Центрально-Арктических поднятий: хребты Ломоносова и Альфа-

¹ Заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, академик РАН

² Геологический институт РАН, доктор геолого-минералогических наук

³ Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации

⁴ Генеральный директор АО «Геослужба ГИН РАН»

Менделеева, а также расположенные между ними котловины Подводников и Макарова. Согласно статье 76 Конвенции ООН по Морскому праву эти области могут принадлежать РФ, если под ними залегают кора континентального типа, непрерывно переходящая в российский шельф и образующая с ним единую геологическую структуру.

По результатам подачи Представления Российской Федерации по установлению внешней границы континентального шельфа РФ в 2001 году и вынесения Комиссией по границам континентального шельфа (ООН) соответствующих рекомендаций, начиная с 2002 года, для целей подготовки повторного частичного пересмотренного Представления по установлению внешней границы континентального шельфа РФ в Арктическом регионе проведено значительное количество научно-исследовательских экспедиций, в результате которых получен большой объем геолого-геофизических материалов, среди которых преобладают данные, полученные с помощью дистанционных геофизических методов. Интерпретация геофизических данных в части состава и возраста глубоко залегающих отложений всегда неоднозначна и требует заверки прямым изучением горных пород, слагающих этот регион. Однако в российском полярном секторе нет ни одной скважины, вскрывающей весь осадочный чехол, что не позволяет адекватно интерпретировать в терминах литологии и стратиграфии материалы, полученные дистанционными методами, и тем более - достоверно их экстраполировать. К этому следует добавить, что геологическое строение и происхождение поднятия Менделеева, являющегося ключевой структурой российского сектора в восточной части СЛО, в мировой научной среде являются дискуссионными. Одни исследователи считают, что это вулканическое плато, возникшее на океанической коре Американо-Азиатского бассейна, раскрывавшегося 150-120 млн. лет назад [13, 11, 10, 9], другие признают его пассивной континентальной окраиной [12, 14, 4, 5, 2, 16, 1]. Единственной возможностью получить убедительные свидетельства в пользу той или иной точки зрения является отбор из коренных обнажений поднятия горных пород, характеризующих его фундамент.

Три естественных обстоятельства затрудняют получение горных пород из коренных обнажений поднятия Менделеева. Во-первых, значительная часть акватории СЛО над поднятием постоянно находится подо льдом. Тяжелые ледовые условия осложняют глубокое бурение (более 2000 м воды) с отбором керна, являющегося одним из самых достоверных методов геологического изучения. Подводное бурение автономными буровыми станками осложняется придонными течениями и трудностями позиционирования станка при погружении. В 2012 г. «Севморгео» была предпринята попытка подводного бурения скважины на поднятии Менделеева. Удалось пробурить три глубоководные скважины с общей длиной керна 1,15 м и с очень низким выходом керна - 60 см [8]. Во-вторых, на дне СЛО много обломков горных пород, являющихся продуктами ледового разноса, которые были захвачены из береговых россыпей льдами и перенесены айсбергами на большие расстояния [15, 10]. Поэтому при драгировании, наиболее распространенном способе опробования, наряду с коренными породами захватывается и дрифтовый материал, принесенный льдами. Недостатком драгировок является также невозможность составить представление о стратиграфической последовательности и структурных соотношениях пород. В-третьих, подавляющая часть поверхности Центрально-Арктических поднятий перекрыта мезо-кайнозойскими осадочными толщами, под которыми погребены коренные породы акустического фундамента.

Преодолеть эти препятствия оказалось возможным благодаря объединению усилий в сфере изучения природы Восточной Арктики академической науки и ВМФ РФ. В арсенале Главного управления глубоководных исследований (ГУГИ) ВМФ РФ

имеется научно-исследовательская подводная лодка (НИПЛ), обладающая подводным обитаемым аппаратом (ПОА), способным отделяться от нее и совершать автономное плавание в глубоководных условиях. Первое использование НИПЛ для геологических исследований на поднятии Менделеева состоялось в экспедиции Арктика-2012, в ходе которой она использовалась для координирования драг и буровой установки [3]. Манипуляторами ПОА были взяты и образцы горных пород, но не из коренных обнажений.

В рамках программы глубоководных геологических исследований, разработанной Геологическим институтом РАН (ГИН РАН), ГУГИ и АО «Геолого-геофизическая служба ГИН РАН» (Геослужба ГИН РАН), в 2014 и 2016 годах проведены две морские глубоководные арктические экспедиции на НИПЛ в районе поднятия Менделеева. Целью экспедиций было выявление детальной морфологии, геологического строения и истории формирования поднятия. Главными задачами были систематическое опробование коренных обнажений на склонах поднятия снизу вверх для получения каменного материала, достаточного для построения стратиграфической последовательности в каждом изученном участке и сводного геологического разреза поднятия Менделеева.

Экспедиционные работы проводились по оригинальной методике комплексного обследования дна средствами НИПЛ, разработанной специалистами ГИН РАН, Геослужбы ГИН РАН и ГУГИ. Методика состоит из 6 последовательных этапов: 1) Выбор полигонов пробоотбора; 2) Батиметрическая съемка полигона, с последующим акустическим профилированием склонов; 3) Визуальные наблюдения и видеорегистрация характера обнаженности и залегания пород; 4) Отбор горных пород из коренных обнажений дна, сопровождаемый фиксацией географических координат точки опробования и видеозаписью отбора каждого образца; 5) Идентификация и фото-документация собранных пород; 6) Камеральная обработка каменного материала (петрографическое и микроскопическое описание пород, рентгено-фазовый анализ, химико-аналитические работы, определение возраста пород палеонтологическими и радиоизотопными методами) и построение сводного геологического разреза. Основная часть глубоководных работ проводится средствами НИПЛ, оснащенной многолучевым эхолотом, ПОА с акустическим профилографом, прожекторами, манипуляторами и видеоаппаратурой. Работы на поднятии Менделеева по разработанной методике проводились в 2014 и 2016 гг. в юго-западной, центральной и северной частях поднятия (рис. 1).

В ходе этих работ на значительных глубинах (до 2600 м) впервые был произведен отбор каменного материала непосредственно из коренных обнажений горных пород [6]. Выбор полигонов для отбора проб проводился на основе анализа массива сейсмических профилей 2Д, полученных в ходе проведения экспедиции «Арктика-2012».

Многолучевым эхолотом НИПЛ в пределах выделенных полигонов была выполнена среднемасштабная батиметрическая съемка (рис. 2). Выявленные особенности рельефа поднятия Менделеева указывают на то, что его рельеф формируется при широком участии гравитационных денудационных процессов. На крутых склонах происходит обрушение материала, сход оползней и крупномасштабное перемещение материала в виде осыпей и грязекаменных потоков. Последние концентрируются в узких зонах, где они вырабатывают корытообразные долины, осложненные уступами и обрывами. Склоны этих долин и являются наиболее предпочтительными участками для опробования.

При анализе батиметрической карты выбирались 5-8 профилей, поперечно ориентированных по отношению к склону. На этих перспективных профилях было

проведено акустическое профилирование высокочастотным профилографом, что позволило обнаружить участки дна, лишенные осадочного чехла. Опыт работ показал, что наилучшими участками для отбора пород являются уступы дна высотой от 2-20 м, которые не обнаруживаются на батиметрической карте. Непосредственно отбор образцов горных пород проводился манипуляторами ПОА при его зависании или посадке на грунт в пунктах, выбранных в ходе визуального наблюдения (рис. 2). В зависимости от сложности рельефа склона и характера коренного обнажения пробоотбор производился несколькими способами: 1) Отламывание образцов от уступов, сложенных тонкослоистыми или слабосцементированными породами; 2) Вытаскивание образцов из уступов, разбитых частыми трещинами; 3) Взятие образцов на террасах, вершинах и в основании уступов из скоплений обломков, естественно выпавших из уступов разбитых трещинами. Процесс пробоотбора сопровождался видеорегистрацией (рис. 2).

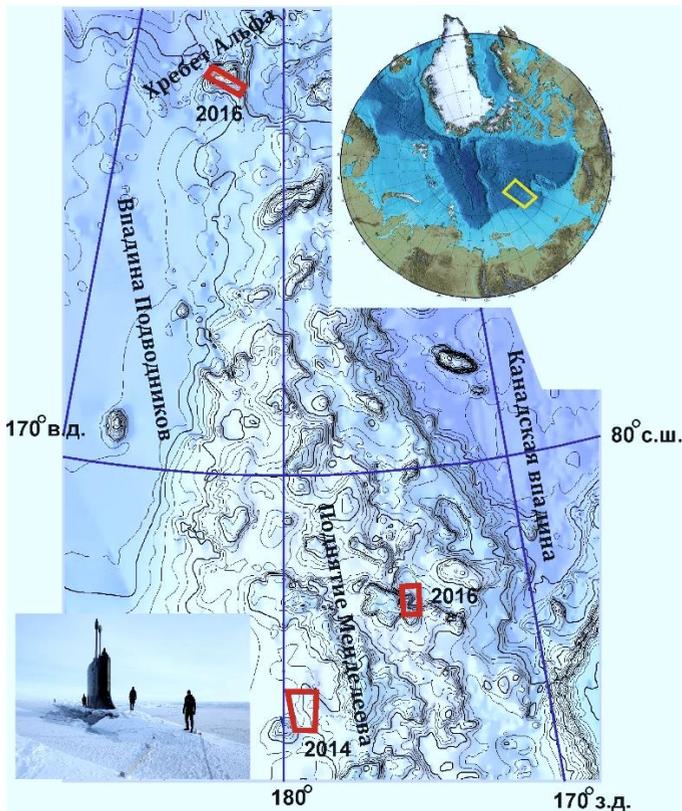


Рис. 1. Местоположение полигонов опробования поднятия Менделеева (обведены четырехугольниками красного цвета) в ходе глубоководных исследований в 2014 г. и 2016 г.

На врезках – положение района исследований (выделено четырехугольником желтого цвета) в общей структуре Арктики (вверху) и НИПЛ (внизу)

В ходе двух глубоководных арктических экспедиций, в центральной, юго-западной и северной частях поднятия Менделеева собрана коллекция горных пород, в которой преобладают осадочные породы (около 73%): доломиты, известняки,

кварцитопесчаники, песчаники (рис. 2). Магматические породы представлены базальтами, андезитами, андезитобазальтами, туфами, долеритами и микрогаббро. В настоящее время завершены или завершаются петрографическое, микроскопическое, литолого-фациальное, рентгенофазовое и петрохимическое изучение, измерения концентраций редких и рассеянных элементов методом ICP MS, измерения отношений стабильных изотопов собранных образцов. Для определения условий и времени формирования осадочных толщ проведены обширные палеонтологические исследования образцов. Образцы магматических пород были исследованы U-Pb и Ar-Ar методами геохронологии. Эти работы проводились ведущими специалистами Геологического института РАН, а также Института геологии и минералогии Сибирского отделения РАН, Института геологии рудных месторождений, петрографии и минералогии и геохимии РАН, ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, Австралийского национального университета.

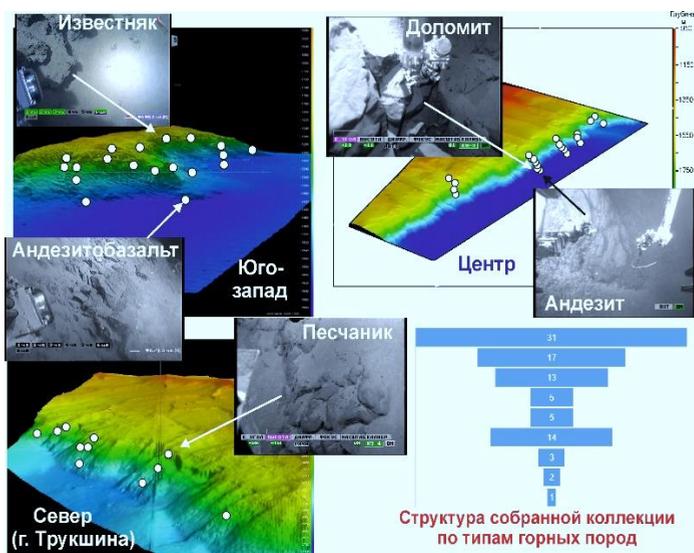


Рис. 2. Батиметрические схемы полигонов и положение точек отprobования.

На врезках показаны примеры взятия образцов.

В представленной структуре коллекции горных пород (в правом нижнем углу) сверху вниз следуют (в шт.): доломит, кварцитопесчаник, известняк, песчаник, туфы, базальты и андезиты, микрогаббро, долериты, диориты

Доломиты являются наиболее распространенными породами в собранной коллекции. Среди них выделяется 4 основных типа: 1) чистые доломиты (рис. 3 а), 2) доломиты с примесью биокластов (рис. 3 б), 3) доломиты с терригенной примесью (рис. 3 в) и 4) доломиты с биокластами и терригенной примесью. Количество примеси в доломитах последних трех типов варьирует в больших пределах (5-60 об. %). Терригенная примесь в доломитах представлена неокатанными обломками алевритовой размерности, в основном кварца, но также полевого шпата и пластинками слюды. Биокласты чаще представлены члениками криноидей, обломками остракод, губок и брахиопод.

Среди *известняков* преобладают разности, одновременно содержащие и биокласты, и терригенную примесь (рис. 3 г, д). Примесная составляющая по всем параметрам близка к таковой в доломитах. В некоторых известняках встречены

цельные раковины брахиопод. Обломки в известняках сцементированы матриком из очень мелких кристаллов кальцита, в ряде образцов этот матрикс частично замещен доломитом (рис. 3 д). Встречен образец фораминиферового известняка, содержащего около 20 об. % цельных раковин фораминифер (рис. 3 е).

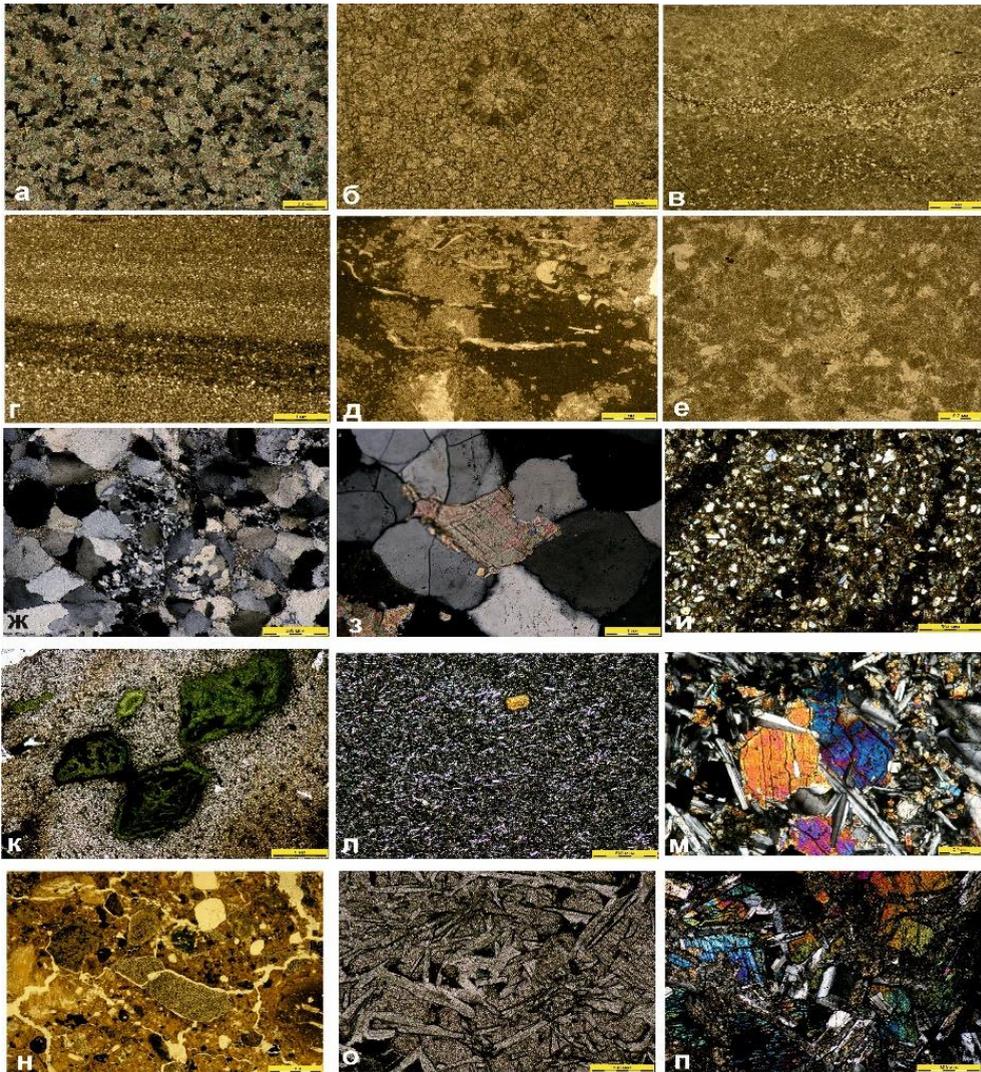


Рис. 3. Микрофотографии горных пород поднятия Менделеева:

а – чистый доломит (обр. 1601/13), б - доломит с члеником лилии (обр. 1601/17), в - доломит с примесью зерен кварца алевритовой размерности (обр. 1601/19), г – известняк с терригенной примесью (обр. 1602/13), д – частично доломитизированный известняк с примесью биокластов (обр. 1602/21), е – фораминиферовый известняк (обр. 1601/8с), ж – кварцитопесчаник (обр. 1601/9), з - кварцитопесчаник с доломитовым цементом (обр. 1601/26), и – песчаник (обр. 1602/14), к – андезитобазальт с миндалинами глауконита (обр. 1601/14), л – андезит (обр. 1601/15), м – базальт (обр. 14-18), н – туф кристалло-литокластический, о – долерит (обр. 1601/4), п – микрогаббро (обр. 1602/23). а – е, к, н, о – николи параллельны, ж – м, п – николи скрещены

Обломочные породы объединяют *кварцитопесчаники* и *песчаники*. По составу обломков они близки, но отличаются составом, количеством и типом цемента, а также структурой породы в целом. *Кварцитопесчаники* обладают гранобластовой структурой (рис. 3 ж). Часть из них на 93-97 об. % состоит из первоначально хорошо окатанных обломочных зерен кварца (рис. 3 ж), в других образцах велика доля полевых шпатов и слюды. Цемент каолиновый, но в некоторых образцах доломитовый (рис. 3 з). В *песчаниках* доминируют неокатанные зерна кварца (рис. 3и), меньше полевого шпата и слюды, около 5 об. % опаковых образований, представленных рудными минералами, и органическим веществом. По составу и объему цемента резко выделяется образец 1602/14 (рис. 3 и), в котором цемент достигает 45-50 об. %, а в его составе доминирует кальцит при подчиненной роли хлорита и гидрослюды.

Петрографические наблюдения показывают, что доломиты, известняки и кварцитопесчаники парагенетически связаны наличием переходных разностей пород.

Среди *вулканитов*, которые преобладают над другими магматическими породами, по минеральному составу и валовому химическому составу выделяются *трахибазальты* (рис. 3 м), *трахиандезитобазальты* (рис. 3 к) и *трахиандезиты* (рис. 3 л). Они сильно разнятся по структуре и минеральному составу, чем более кислая порода, тем она более лейкократовая. Базальты в основном образованы микролитами клинопироксена и плагиоклаза, в андезитах – только микролиты плагиоклаза. Среди вкрапленников в базальтах встречаются плагиоклазы и оливины, а в более кислых породах плагиоклазы и роговые обманки. Последние часто опацифицированы. Андезиты встречаются в виде вулканических бомб, среди них также наблюдаются миндалекаменные разности, при этом миндалины выполнены глаукоцитом. Петрогеохимические исследования вулканитов свидетельствуют о том, что они образуют ряд дифференциации умеренно щелочных расплавов, зародившихся под корой континентального типа и изливавшихся в наземных или мелководных условиях, первичные расплавы были контаминированы веществом континентальной коры [7]. Среди *туфов* встречены кристалло-литокластические (рис. 3 н) и витрокластические разности. Судя по составу обломков, они близки к трахиандезитобазальтам. *Долериты* (рис. 3 о) и *микрогаббро* (рис. 3 п) отличаются друг от друга размером породообразующих минералов: плагиоклаза и клинопироксена, они более крупные в микрогаббро. В обоих типах пород наблюдается большое количество ксеноморфного рудного Fe-Ti минерала (3-6 об. %), реже встречаются ортопироксен и оливин. Породообразующие минералы частично замещены хлоритом и амфиболами.

Результативными для определения возраста осадочных пород оказались палиноморфы (акритархи, споры и пыльца растений, диноцисты), фораминиферы, криноидеи, конодонты и брахиоподы, помимо них обнаружены сколекодонты, спикулы губок, водоросли, мшанки, остракоды, гастроподы, голотурии. Проведенные палеонтологические исследования коренных пород дна, отобранных на участках крутых склонов поднятия Менделеева, позволяют выделить три разновозрастных ассоциации осадочных горных пород: ордовикско-силурийскую, средне-позднедевонскую и раннемеловую [17]. Видимый разрез позднего ордовика-силура образован переслаивающимися доломитами, кварцитопесчаниками и известняками. Литологические особенности пород свидетельствуют о том, что формирование раннепалеозойских осадков происходило в мелководном море, порой в прибрежных застойных условиях. Сходные палеоклиматические и палеоландшафтные условия осадконакопления в это время были характерны для территории современной Российской восточной Арктики: Сибирская платформа, Новосибирские острова, о. Врангеля. Девонская часть разреза состоит из переслаивающихся известняков и

песчаников. Принимая во внимание преимущественно карбонатный тип осадконакопления и наличие в известняках обломочной составляющей псефитовой размерности, можно предположить, что формирование девонских отложений происходило в морских мелководных условиях. Раннемеловая ассоциация осадочных пород представлена одним образцом песчаника (обр. 1602/14), который предположительно располагается на девонских породах.

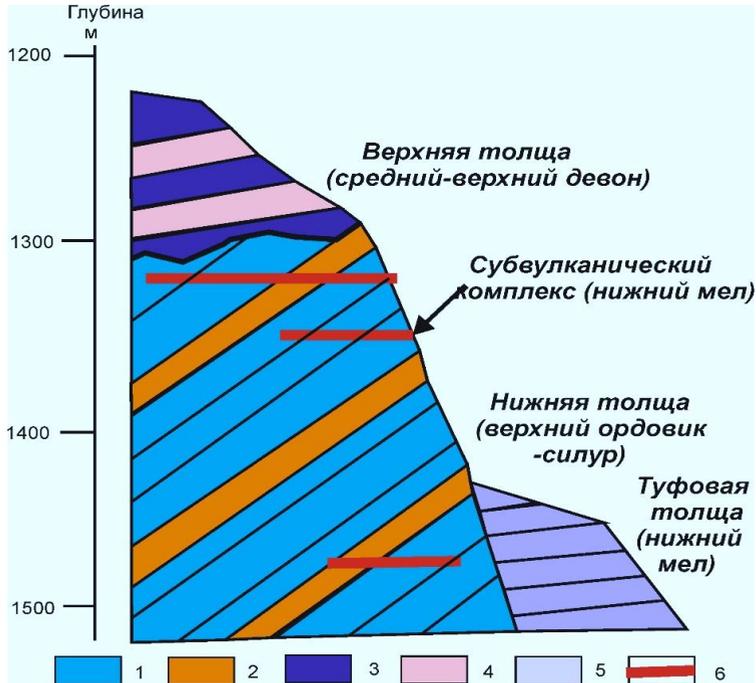


Рис. 4. Геологический разрез юго-западной части поднятия Менделеева.

Условные обозначения: 1 – доломиты, 2 – кварцитопесчаники, 3 – известняки, 4 – песчаники, 5 – туфы, 6 – андезитобазальты и базальты

Определение возраста магматических пород методами U-Pb и Ar-Ar изотопной геохронологии еще не завершено, однако однозначно можно сказать, что большинство вулканических пород сформировались в апт-альбское раннемеловое время (110-120 млн. лет назад) [7].

Таким образом, изучение ископаемых остатков фауны и флоры в осадочных породах показало, что последовательность отложений акустического фундамента поднятия Менделеева формировалась в раннем и среднем палеозое (400-350 млн. лет назад) задолго до того, как в Арктике началось раскрытие океана (150 млн. лет назад).

Полученные данные о составе и возрасте пород, об их залегании и порядке чередования являются основой для реконструкции геологического разреза поднятия Менделеева. К настоящему времени наиболее законченная реконструкция проведена для акустического фундамента юго-западной части поднятия Менделеева [6, 17]. Результат этой реконструкции показан на рис. 4, из которого видно, что в районе поднятия Менделеева между верхний ордовик-силурийскими и средне-верхнедевонскими отложениями существует стратиграфическое и угловое несогласие.

Таким образом, научные результаты, полученные разными методами, однозначно и независимо друг от друга доказывают континентальное происхождение поднятия Менделеева. Эти результаты были доложены на 46-й сессии Комиссии по границам континентального шельфа ООН в Нью-Йорке в феврале 2018 г. и приняты для дальнейшего рассмотрения экспертами.

Авторы выражают благодарность руководству ГУГИ МО РФ за организацию глубоководных экспедиций и экипажу НИПЛ, умелые действия которого дали возможность собрать уникальные материалы, однозначно доказывающие континентальную природу поднятия Менделеева.

Литература

1. Кашубин С.Н., Павленкова Н.И., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Шокальский С.П., Эринчек Ю.М. Типы земной коры циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения, 2013, № 55, с. 5-20.

2. Лобковский Л.И., Вержбицкий В.Е., Кононов М.В., Шрейдер А.А., Гарагаи И.А., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Котелкин В.Д., Верниковский В.А. Геодинамическая модель эволюции арктического региона в позднем мезозое-кайнозое и проблема внешней границы континентального шельфа России Арктика // Экология и экономика, 2011, № 1, с. 104-115.

3. Морозов А.Ф., Петров О.В., Шокальский С.П., Кашубин С.Н., Кременецкий А.А., Шкатов М.Ю., Каминский В.Д., Гусев Е.А., Грикуров Г.Э., Рекант П.В., Шевченко С.С., Сергеев С.А., Шатов В.В. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий // Региональная геология и металлогения, 2013, № 53, с. 34-55.

4. Никишин А.М., Соболев К.О., Прокопьев А.В., Фролов С.В. Тектоническая эволюция Сибирской платформы в течение венда и фанерозоя // Бюллетень Московского университета, серия геологическая. 2010, № 65, с. 1-16.

5. Поселов В.А., Буценко В.В., Каминский В.Д., Саккулина Т.С. Поднятие Менделеева (Северный Ледовитый океан) как геологическое продолжение континентальной окраины Восточной Сибири // Доклады РАН, 2012, Т.443, №2, с. 232-235.

6. Сколотнев С.Г., Федонкин М.А., Корнийчук А.В. Новые данные о геологическом строении юго-западной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // Доклады РАН, 2017а, Т. 476, № 2, с. 190-196.

7. Сколотнев С.Г., Федонкин М.А., Толмачева Т.Ю., Александрова Г.Н., Исакова Т.Н., Милес Л.В. Геологический разрез фундамента поднятия Альфа-Менделеева в Северном Ледовитом океане по данным глубоководных исследований // Геология морей и океанов. Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИО РАН. 2017б. Т. II. с. 110-114.

8. Шкатов М.Ю., Иванов Г.И. Первая российская скважина на дне Северного Ледовитого океана. Океанология, 2013, Т. 53, № 4, с. 569-572.

9. Bruvoll V., Kristoffersen Y., Coakley B.J. The nature of the acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean. Tectonophysics, 2012, V. 514-517, p. 123-145.

10. Grantz A., Hart P.E., Childers V.A. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean. In: Spencer, A.M., Gautier, D., Stoupakova, A., Embry, A., Sorensen, K. (Eds.) Arctic Petroleum Geology. Geological Society, London Memoirs, 2011, V. 35, p. 771-799.

11. Jokat W. Seismic investigations along the western sector of Alpha Ridge, Central Arctic Ocean. Geophysical J. International, 2003, V. 152, p. 185-201.

12. Lebedeva-Ivanova N.N., Zamansky Y.Y., Langinen A.E., Sorokin M.Y. Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82 degrees N: evidence of continental crust. Geophysical Journal International, 2006, V. 165, p. 527-544.

13. Lawver L.A., Grantz A., Gahagan L.M. Plate kinematic evolution of the present Arctic region since the Ordovician. Geological Society of America, Special Paper, 2002, V. 360, p. 333-358.

14. Miller, E.L., Toro J., Gehrels G., Amato J.M., Prokopiev A., Tuchkova M.I., Akinin V.V., Dumitru T.A., Moore T.E., Cecile M.P. New insights into Arctic paleogeography and tectonics from U–Pb detrital zircon geochronology. Tectonics, 2006, V. 25, TC3013.

15. Phillips R.L., Grantz A. Regional variations in provenance and abundance of ice-rafted clasts in Arctic Ocean sediments: implications for the configuration of late Quaternary oceanic and atmospheric circulation in the Arctic. *Marine Geology*, 2001, V. 172, p. 91-115.

16. Scotese Ch.R. Paleogeographic Reconstructions of the Circum-Arctic Region since the Late Jurassic, in: *Paleogeographic and Paleoclimatic Atlas*. PALEOMAP Project, 2011, Arlington, TX.

17. Skolotnev S., Aleksandrova G., Isakova T., Tolmacheva T., Kurilenko A., Raevskaya E., Rozhnov S., Petrov E., Korniychuk A. Fossils from seabed bedrocks: implications for the nature of the acoustic basement of the Mendeleev Rise (Arctic Ocean). *Marine Geology*, 2019, V. 407, p. 148-163.

М.В. Флинт¹

Ресурсный потенциал Мирового океана: роль фундаментальных экосистемных исследований и межотраслевая кооперация

Зависимость человечества от ресурсов Мирового океана стремительно возрастает. Это определяется несколькими глобальными факторами. Население планеты, которое в конце 2018 г. превысило 7.6 млрд., в течение ближайших 10 лет, согласно демографическому докладу ООН, достигнет 8.5 млрд. Сегодня почти 900 млн. человек голодают, а еще более 1 млрд. недополучают физиологически необходимой нормы пищи. Самые голодающие регионы Земли – Африка и Азия, и именно в голодающих регионах ожидается самый высокий темп прироста населения: в Африке почти в 2 раза, в Азии в 1,5 раза, в Индии в 1,3 раза. Голод становится планетарной проблемой, с ним во многом связано возникновение локальных войн и массовых миграций, которые ставят под угрозу уклад жизни и экономику многих стран. В настоящий момент (осень 2018 г.) по данным ООН только в Йемене голодают более 18 млн. человек, которые срочно нуждаются в немедленной гуманитарной продовольственной помощи. В миграции сегодня вовлечены 3.5% населения планеты – около 260 млн. человек из слабо развитых и голодающих стран. При этом развитые государства, на которые падает миграционный пресс, исповедуя современные гуманитарные ценности, по сути, оказались не готовыми к предотвращению «миграционного бедствия». Первое, что необходимо делать – решить проблему голода и недостатка пищи в тех странах, где именно эти факторы провоцируют миграционные перемещения людей. Продовольственные ресурсы, которые могут дать экосистемы суши, ограничены. Согласно оценкам ООН, базируясь на этих ресурсах на Земле, не испытывая голода и не разрушая необратимо наземные экосистемы, могут жить 5-5.5 млрд. человек. Это очень близко к современной ситуации. Очевидно, что источником пищевых ресурсов и для сегодняшнего и будущего населения Земли будет Мировой океан. Оценки продовольственного потенциала Океана очень разнятся. Одни утверждают, что его достаточно для существования 25-30 млрд. человек, другие поднимают эту планку до 100 млрд. Такие различия не удивительны, поскольку сегодня мы не знаем реального биопродукционного потенциала Океана, а суммарные оценки базовой характеристики океанских экосистем – первичной продукции планктонных водорослей варьируют от 45×10^9 до 140×10^9 органического углерода в год. Но, безусловно, Океан будет играть огромную и все возрастающую роль в обеспечении человечества пищей.

Второй фактор, определяющий прогрессирующее значение Океана для человечества – лежащие на его дне минеральные ресурсы. По прогнозам, вклад морских месторождений в добычу большой группы минерального сырья к середине

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, член-корреспондент РАН

века будет выше, чем месторождений суши. Наибольшее значение для человека имеют железо-марганцевые конкреции (ЖМК); кобальто-марганцевые корки (КМК); глубоководные полиметаллические сульфидные руды (ГПС) и фосфориты. В конкрециях, корках, сульфидных рудах и фосфоритах содержится высокие концентрации никеля, кобальта, марганца, меди, цинка, серебра, золота, свинца, фосфора, присутствуют платина, кадмий, редкоземельные и другие элементы. Большая часть этих элементов востребована бурно развивающейся промышленностью, производящей микроэлектронику. Железо-марганцевые образования представляют собой не только рудное сырье, но высокоэффективный природный сорбент, используемый, в том числе, и в ядерной энергетике, и высококачественное сырье для синтеза неорганических ионообменных материалов. По сегодняшним оценкам общая стоимость ресурсов только железо-марганцевых конкреций и кобальто-марганцевых корок близка к 40 трлн. долл., что почти в два раза превышает оценку для месторождений суши. Кобальто-марганцевые корки, железо-марганцевые конкреции и полиметаллические сульфидные руды являются первоочередными объектами освоения глубоководных минеральных ресурсов Океана.

Биологические ресурсы Океана

Сегодня общая мировая добыча биоресурсов в Мировом океане составляет в среднем около 120 млн. т в год, Россия получает ~4.2 млн. т. Характеристики «около» и «~» неизбежны, поскольку объемы промысла варьируют год от года в связи с климатическими условиями, изменениями условий воспроизводства и численности промысловых объектов, последствиями перепромысла и т.п. Но в целом за последние 10 лет мировой промысел был стабильным. Оценки возможного безущербного для океанских экосистем изъятия традиционных биоресурсов, как и оценки первичной продукции Океана, существенно варьируют – от 70 до 200 млн. т. Подавляющее большинство экспертов оценивают критический уровень промысловой нагрузки на Океан при современном спектре промысла в 120 млн. т и, таким образом, очевидно, что он уже достигнут. Более того, при такой нагрузке прогнозируется десятикратное падение доступных традиционных ресурсов в течение ближайших 40-45 лет. Важнейшими современными тенденциями мирового морского промысла являются масштабный выход за пределы 200-мильных экономических зон и активное вовлечение в промысловое использование организмов низших трофических уровней. Последнее открывает доступ к биоресурсам, по объему на порядок превосходящим традиционные, но одновременно ставит под угрозу существование крупных региональных экосистем.

В настоящее время 90% добычи биологических ресурсов Океана приурочено к 200-мильным экономическим зонам прибрежных государств. Это традиционная локализация промысла, которая определяется фундаментальными особенностями биологической структуры и продуктивности Океана и экономическими причинами. Резервы для увеличения промысла в прибрежных областях Океана давно исчерпаны, и изученность этих районов не оставляет надежды на их появление в будущем. Таким образом, увеличение добычи биологических ресурсов Океана может дать лишь активный выход промысла за пределы 200-мильных экономических зон и вовлечение в промысловую добычу нетрадиционных промысловых объектов. Эти тенденции активно развивались в конце прошлого и, особенно, в начале этого века.

Конвенция ООН по морскому праву 1982 г. закрепила на международном уровне важнейшее положение о ширине исключительной экономической зоны и вывела мировую конкуренцию за биологические ресурсы в открытый Океан, декларировав принцип свободы рыболовства в открытом море. На деле принцип «свободы

рыболовства» в открытых водах Океана получил серьезные ограничения. Было создано множество международных конвенций, которые ввели жесткие правила регулирования промысла на акваториях своей юрисдикции, а также уровня добычи наиболее важных промысловых объектов (рис. 1).

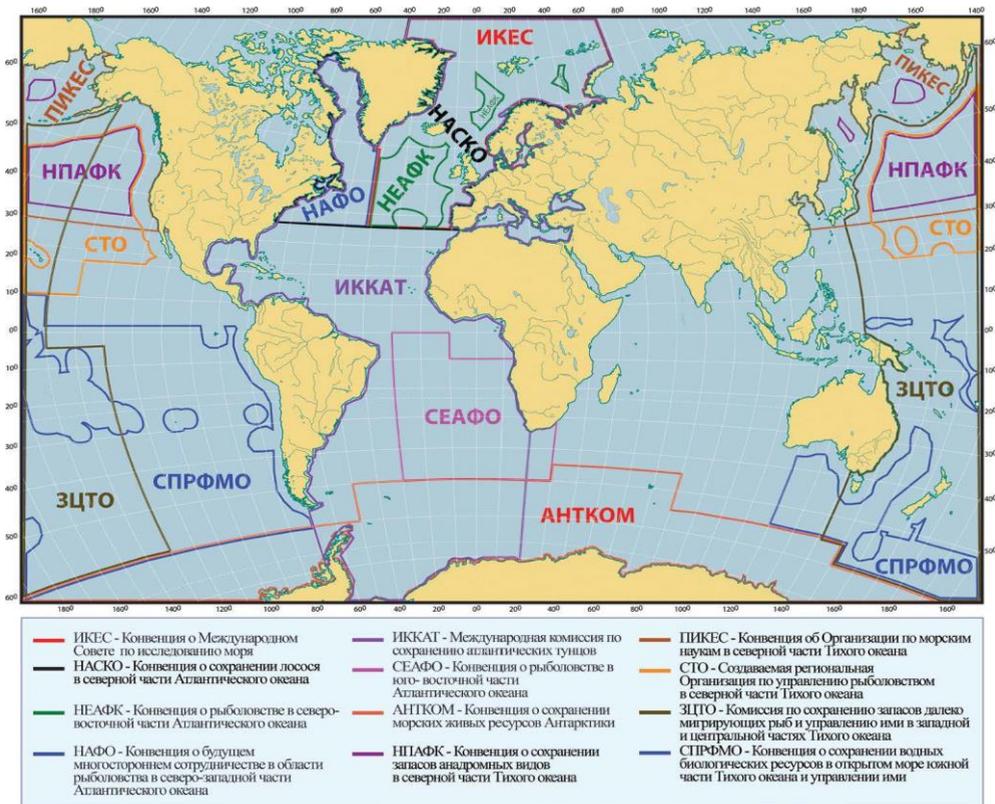


Рис. 1. Деление открытых акваторий Мирового океана на районы, находящиеся под юрисдикцией международных конвенций

Например, «Конвенция о сохранении морских живых ресурсов Антарктики» (АНТИКОМ), одного из важнейших промысловых районов Мирового океана, своей властью определяет квоты на объекты промысла для заинтересованных стран, территориальное размещение промысла и даже локализацию морских охраняемых районов, где всякий промысел закрыт. «Конвенция о сокращении запасов анадромных видов в северной части Тихого океана» (НПАФК) регулирует промысел лососевых в открытых водах северной части Тихого океана. Название «Конвенция о сокращении водных биологических ресурсов в открытом море южной части Тихого океана и управления ими» говорит само за себя. Это лишь малая часть международных ограничений промысла биологических ресурсов в открытых районах Океана.

Каков же «входной билет», дающий право на промысел в районах, находящихся под юрисдикцией многочисленных международных конвенций и комиссий, созданных под эгидой Конвенции ООН по морскому праву? Обязательными условием доступа к промыслу они установили проведение экосистемных исследований, обеспечивающих рациональное использование биологических ресурсов и сохранение региональных морских экосистем. Конвенция ООН содержит следующие разделы,

регулирующие деятельность человека в Океане: «Район» и его ресурсы – общее наследие человечества (ст. 136); Необходимость мер для обеспечения эффективной защиты морской среды от вредных для нее последствий (ст. 145); Часть XII: Защита и сохранение морской среды. Основное положение АНТКОМ, регулирующей деятельность человека в Антарктике, детализирует и ужесточает правила Конвенции: «Необходимо применять целостный, или экосистемный подход к управлению морскими живыми ресурсами Южного океана и регулированию промысла, когда весь Южный океан рассматривается как комплекс взаимосвязанных экосистем».

Антарктика обладает огромным промысловым потенциалом. Биологические ресурсы Южного океана это, прежде всего криль и промысловые виды рыб. Современные исследования позволяют рассматривать антарктический криль как **уникальный промысловый объект – объект будущего, и по объему возможного вылова, и по спектру использования и качеству получаемого сырья**. Количество антарктического криля оценивается в 300-500 млн. т, (больше, чем биомасса всех людей в мире), максимальные оценки достигают ~ 1 млрд. т. Сегодня это второй по значению (после анчоуса) морской промысловый ресурс в мире. Разрешенный вылов криля – 9 млн. т (около 8% мирового морского промысла) и потенциально может быть существенно увеличен. Только в Северной Атлантике промысловая квота составляет 5,6 млн. т, что соответствует денежному эквиваленту 8 млрд. долларов США.

Перспективным ресурсом Южного океана является светящейся анчоус, региональная биомасса которого превышает 12 млн. т, а возможный ежегодный вылов может составлять более 3 млн. т. По совокупности биологические ресурсы Антарктики смогут обеспечить устойчивый долговременный рост добычи биологических ресурсов для отечественного экспедиционного рыболовства. Сейчас Россия, будучи членом АНТКОМ, не имеет полноправного доступа к промысловым ресурсам Антарктики, поскольку ее политика в регионе не соответствует правилам этой международной организации. Главная причина – мы серьезно отстаем в проведении комплексных экосистемных морских научных исследований в Южном океане с целью определения механизмов формирования биологической продукции, их региональных особенностей, связей с климатическими факторами, рационального использования водных биологических ресурсов, а, проще говоря, вообще не проводим таких исследований. Объективно, такие исследования при определении объемов и регионального размещения промысла антарктического криля необходимы, поскольку этот вид является ключевым трофическим компонентом антарктической экосистемы. Он потребляет огромные объемы первичной продукции фитопланктона, а сам служит основой питания китов, некоторых видов тюленей, птиц, включая пингвинов, рыб и кальмаров. При всей экономической и геополитической важности проблемы **за последние 6 лет Россия не провела ни одной экосистемной экспедиции в Южный океан**. Это уже привело к утрате отечественных позиций в регионе, выводит Россию из числа стран, определяющих региональную политику, и лишает голоса в решении международных вопросов, связанных с разделом, использованием и охраной богатейших биологических ресурсов морского Антарктического региона. Претензии разных стран на эти ресурсы растут чрезвычайно быстро. Позиции России будет сложно восстановить в будущем. Выделение охраняемых морских районов в Южном океане (с закрытым промыслом) уже сейчас идет без полноправного участия России, а для них планируется отвести районы традиционные для отечественного промысла криля в Атлантическом секторе (рис. 2). К сожалению, такое отношение к России формируется на фоне того, что именно институты Академии наук СССР вели первые экосистемные исследования Антарктики, сформулировали принципы структурно-

функциональной организации экосистем Южного океана и дали на этой основе прогноз запасов криля.

Второй крупнейший биологический ресурс Мирового океана – мелкие мезопелагические рыбы – светящиеся анчоусы. Их запасы до недавнего времени оценивались в 850 млн. - 1 млрд. т, а возможный объем промысла – в 100 млн. т. Крупная международная экспедиция 2010-2011 гг. на основании тралового и акустического исследования увеличила эту оценку до 11-15 млрд. т для океанической акватории между 40⁰ с.ш. и 40⁰ ю.ш. Соответствующим образом возросли и оценки возможного промыслового изъятия. В настоящее время экономически выгодные технологии промысла мезопелагических рыб только внедряются, но, безусловно, это один из главнейших промысловых ресурсов самого ближайшего будущего. В основном, эти циклопические по объему ресурсы приурочены к океаническим районам, находящимся под юрисдикцией международных комиссий, регулирующих морской промысел (рис. 1) и Россия в своих претензиях на промысел столкнется с той же проблемой, что и Южном океане.

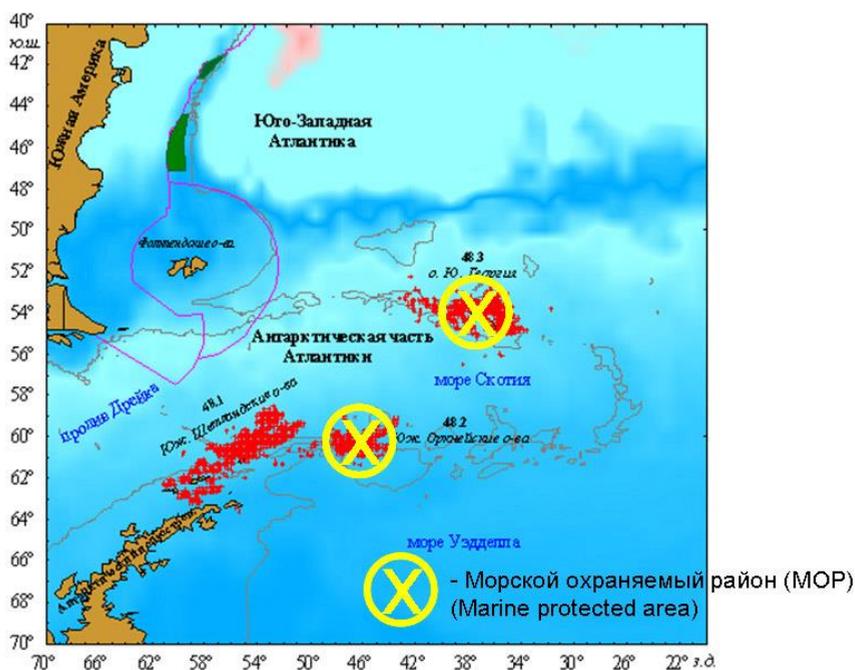


Рис. 2. Традиционные и перспективные районы российского промысла антарктического криля в Атлантическом секторе Южного океана (обозначены красным) и планируемое положение морских охраняемых районов, выделяемых АНТКОМ

В последнее десятилетие меняется характер использования биологических ресурсов Океана, что связано и тем, какие новые перспективные объекты вовлекаются в промысел. Возрастают объемы промысла «фуражных» объектов, которые не используются человеком напрямую в пищу, а идут на производство рыбной муки. Этот продукт играет огромную роль в разных областях хозяйственной деятельности, вплоть до удобрения полей под некоторые сельскохозяйственные культуры, но основное его назначение – производство кормов для аквакультурного и бройлерного хозяйств.

Огромное значение этих направлений хозяйственной деятельности определяется ежегодным ростом Мирового запроса на потребление белковой пищи на 3-3.5%. Сейчас аквакультура одна из наиболее активно развивающихся областей продовольственного хозяйства с объемом производства около 55 млн. т (практически половина мирового морского промысла!), из которых на долю марикультуры – морской части этого производства приходится ~12 млн. т. Прогнозируемый годовой прирост колоссальный – 12%, и это ставит отрасль на грань голодания в части обеспечения кормовыми ресурсами. Мировое бройлерное хозяйство имеет еще более важное значение для обеспечения человечества пищей. Его общий объем сегодня превосходит 87 млн. т. (соизмеримо с объемом производства марикультуры). Безусловные лидеры – США, Китай, Бразилия и Евросоюз.

Развитие морского промысла нетрадиционных «фуражных» объектов, расширение производства рыбной муки – возможность стимулировать быстрый рост аквакультурного и бройлерного хозяйств для обеспечения пищей растущее человечество. Потребность России, далеко не первой страны в списке потребителей этого продукта, сегодня оценивается почти в 1 млн. т. Если говорить о промысле криля, то лишь небольшая его часть напрямую идет на изготовление пищевых продуктов и добавок, еще меньшая – для медицинских целей. Основное направление использования криля – производство кормов для марикультуры и с/х животных. Огромное садковое хозяйство по выращиванию лососевых рыб в Норвегии, продукция которого экспортируется по всему миру, и подобное производство в других странах во многом держатся на использовании криля в качестве корма. Это направление аквакультуры активно развивается в Китае (который лидирует по вылову антарктического криля), Канаде, США, Италии, Нидерландах. Мезопелагические рыбы, как и перуанский и японский анчоусы, еще в меньшей степени, чем криль, напрямую используются человеком в пищу. Этот фуражный ресурс практически полностью перерабатывается в рыбную муку. Интересен исторический факт, связанный с попыткой насильственного использования перуанского анчоуса в пищу. В период продовольственного кризиса в Перу в 2005 г. правительством было законодательно предписано включить анчоуса в пищевой рацион населения. Но даже в это время доля его прямого пищевого использования едва превышала 1-2% от вылова, все остальное по-прежнему шло на производство рыбной муки. Именно такой ресурс, как перуанский анчоус, привел к рождению мощнейшего по масштабам бройлерного хозяйства США. На эту историю можно посмотреть, как на модель будущего развития отрасли в мировом масштабе. В середине 60-х годов США были доминирующим потребителем рыбной муки перуанского производства из анчоуса, которая занимала почти 60% мирового рынка. Уникальные свойства очень небольшой по масштабам экосистемы Перуанского прибрежного апвеллинга лежат в основе высочайшей биологической продуктивности. В этот период добыча анчоуса составляла 8-10 млн. т (более 20% мирового вылова рыбы в Океане). Именно этот ресурс стал основой бройлерного хозяйства США. Оно включало кур и индеек. Мука из анчоуса была использована и при выращивании свиней. Бройлерное хозяйство США при дешевизне корма, получаемого из моря, занимало около 60% мирового рынка. Ежегодно выращивалось более 3 млрд. голов птицы. Важно, что американскими и советскими учеными (институты АН СССР) в конце 1960-х – начале 1970-х годов были проведены детальные исследования экосистемы перуанского апвеллинга, включая моделирование, с тем чтобы выяснить механизмы формирования высокой биологической продуктивности, ее устойчивость и оценить объем возможной промысловой нагрузки, который составил 7.5-8 млн. т. последующие события – перепромысел анчоуса (12.7 млн. т в 1971 г.), о пагубных последствиях которого

говорили результаты научных исследований, на фоне мощнейшего Эль-Ниньо 1972 г., приведшего к падению продуктивности перуанской экосистемы, разрушили эту цепочку. Промысел анчоуса упал до 1,2 млн. т. В бройлерном хозяйстве рыбную муку пришлось заменить гораздо более дорогой соей. Последствия – 40% рост цен на продукцию бройлерных хозяйств, расширение посевных площадей сои за счет сокращения посевов пшеницы, рост цен на пшеницу и другое зерно. В целом, все это вызвало серьезные потрясения на мировом сельскохозяйственном рынке. Эта очевидная ситуация демонстрирует необходимость экосистемных исследований для обоснования объема промысловой нагрузки на морские экосистемы и ее планирования в зависимости от изменений природных условий.

Анчоус – короткоциклический вид, достигает зрелости и промыслового размера в возрасте одного года. Вид в основном питается планктонными водорослями и у него отсутствуют пищевые конкуренты, что позволило ему быстро восстановить численность после катастрофических событий 1972 г. Однако, несмотря на эти благоприятные обстоятельства, численность анчоуса может существенно снижаться в годы со слабо выраженным апвеллингом и неблагоприятными условиями существования, и планирование его промысла требует понимания особенностей функционирования домашней экосистемы в конкретный период. Сейчас при промысле анчоуса в 10 млн. т в год Перу производит более трети мирового объема рыбной муки, которая экспортируется в США и Китай, где производится 85% продукции бройлерных хозяйств. Это дает Перу около 35% экспортных доходов.

Можно легко представить какой объем продукции и какой экономический эффект в развитии марикультуры и сельского хозяйства даст прогнозируемый промысел мезопелагических рыб в 100 и более млн. т. Но при этом необходимо знать и предвидеть, в этом международные конвенции абсолютно справедливы в своих требованиях, какое воздействие такой масштабный промысел окажет на естественные морские экосистемы, где и когда его следует вести и сколько промышленно. Ответы на эти вопросы могут дать только экосистемные исследования перспективных в отношении промысла биологических ресурсов морских регионов, которые традиционно вели институты Российской академии наук. *За последние годы страны, претендующие на добычу мезопелагических рыб в открытом Океане, провели крупные экспедиции по оценке их запасов, исследованию экосистем в районах предполагаемого промысла. Россия – ни одной. Наши экосистемные исследования в стратегических районах Мирового океана закончились более 30 лет назад.*

Минеральные ресурсы Океана

Наиболее востребованные и перспективные минеральные ресурсы открытых районов Мирового океана – железо-марганцевые конкреции, кобальтоносные железомарганцевые корки, обогащенные никелем, молибденом и вольфрамом, и полиметаллические сульфидные руды. Концентрация интересующих человека стратегически важных элементов в этих образованиях существенно выше, чем в рудах на суше: кобальта в 5 тыс. раз, марганца – в 4 тыс. раз, никеля – в 1,5 тыс. раз, алюминия – в 200 раз, меди – в 150, молибдена – в 60, свинца – 50 и железа – в 4 раза. Это определяет высокую целесообразность использования этих ресурсов и затрат на их разведку и добычу. Экспертная оценка стоимости кобальта и марганца в кобальто-марганцевых корках и железо-марганцевых конкрециях – 4435,8 млрд. и 1661,0 млрд. долл. Общие оценки запасов сульфидных полиметаллических руд на дне Океана труднее поддаются оценке в силу их неполной разведанности, но даже то, что мы знаем, говорит о колоссальных масштабах этих ресурсов. В пределах Российского разведочного участка на Срединно-Атлантическом хребте выявлено 100 млн. т

рудной, что эквивалентно 30 млн. т сухой рудной массы при средних содержаниях меди 9-10%. В целом по району прогнозные ресурсы Cu могут достигать 4,5 млн т, а Au – 200 т. Это сопоставимо с запасами на балансе ПАО ГМК «Норникель». На Галапагосском рифтовом поле (восточная часть Тихого океана) находится около 25 млн. т массивных сульфидов. Очевидно, что сделанная в 1987 г. оценка доли сульфидных руд Океана в общих мировых запасах – ~30% ниже реальной. Кроме того, по имеющемуся прогнозу наземные месторождения таких металлов, как олово, медь, цинк, никель будут исчерпаны в течение ближайших 25-30 лет, а серебра и золота – в течение 15-20 лет. Минеральные ресурсы Международного района Мирового океана представляют собой минерально-сырьевую базу будущего и являются объектом геополитических притязаний мирового сообщества. Многие месторождения полезных ископаемых на дне Океана открыты, ведется оценка запасов, для некоторых уже разработана технология добычи. На разведку и оценку запасов железо-марганцевых конкреций в настоящее время имеется 17 контрактов, железомарганцевых корок – 5 контрактов, полиметаллических сульфидных руд – 7 контрактов.

Казалось бы, при чем здесь исследования океанических экосистем? Но, согласно международным нормам, именно экологические исследования открывают странам доступ к разведке и будущей добыче минеральных ресурсов со дна Океана. Месторождения железо-марганцевых конкреций находятся на абиссальных равнинах (глубины 4000-6000 м), железо-марганцевые корки связаны с подводными горами (глубины 800-2500 м), сульфидные руды – с гидротермальными проявлениями на срединно-океанических хребтах (800-4000 м). Все эти области Мирового океана заняты уникальными и до настоящего времени недостаточно изученными экосистемами. Любое не обоснованное экологическими нормами вмешательство человека может привести к локальному или полному разрушению этих уникальных подводных систем. Наиболее очевидный, но далеко не полный перечень потенциальных воздействий на экосистемы в местах разведки и добычи полезных ископаемых со дна Океана, состоит в следующем: уничтожение уникальных поселений животных; уничтожение родительских популяций, от которых зависит существование видов на больших территориях; удаление/уничтожение важнейшего для разных форм жизни твердого субстрата; разрушение/уничтожение верхнего слоя осадка; нарушение целостности/фрагментация уникальных донных биотопов; мутьевые потоки от воздействия на дно и сброс промывных растворов; токсическое воздействие. Признание экологических угроз при разработке полезных ископаемых на дне Океана определило создание специализированных международных органов и соответствующих международно-правовых документов, регламентирующих вопросы охраны окружающей среды в ходе разведки и будущей добычи глубоководных полезных ископаемых. Конвенция ООН по морскому праву 1982 г. (ее ратифицировали 167, включая Россию, и ЕС) декларировала создание Международного органа по морскому дну (раздел 4 части XI). Международный орган ООН по морскому дну следующим образом регламентировал правила поиска и разведки ресурсов в части защиты и сохранения морской среды (часть V): Предотвращение, сокращение и сохранение под контролем загрязнения и других опасностей для морской среды; Осторожный подход и передовая природоохранная практика; Сбор фоновых экологических данных и выявление экологического фона. Выполнение этого регламента жестко контролируется при выдаче лицензий и выполнении работ. Жесткие международные требования в экологической области стимулировали проведение соответствующих экспедиционных исследований. *За последние 5 лет страны, претендующие на разведку и добычу глубоководных минеральных ресурсов, провели 17 крупных специализированных морских*

экосистемных экспедиций. Россия – ни одной. Мы рискуем потерять свои участки на этом «Клондайке» минеральных ресурсов будущего и свое геополитическое влияние на распределение ресурсов. Активность стран, заинтересованных в ресурсах открытого Океана, в первую очередь Китая, последе время резко возрастает. Получение лицензии на работы по оценке запасов сульфидных полиметаллических руд на Российском разведочном участке (Срединно-Атлантический хребет) в 2012 г. было в большой степени основано на материалах крупных комплексных экспедиций институтов РАН в этот район, в том числе с использованием ГОА «Мир», и сделанных описаниях структуры уникальных гидротермальных экосистем. В ходе разведочных работ был выполнен комплекс попутных экологических исследований на судне ВНИИ Океангеология и научно-исследовательских судах РАН. Получены оценки фонового состояния экосистемы и сформированы подходы к выделению Участков особой экологической важности. Но этого недостаточно для выхода на мировой уровень.

Была ли забота об океанических экосистемах главным поводом к созданию под эгидой Конвенции ООН по морскому праву огромного числа международных конвенций и комитетов, регулирующих деятельность по разведке и добыче биологических и минеральных ресурсов в Мировом океане? На мой взгляд, главным поводом было создание механизмов геополитического регулирования этой чрезвычайно перспективной деятельности с использованием очень весомых в современном мире и часто превалирующих в общественном сознании экологических аргументов. Что реально можно сделать сегодня в области выработки рекомендаций по охране экосистем открытого Океана и рациональному природопользованию в районах добычи биологических и минеральных ресурсов при современном уровне знаний об их структурно-продукционных характеристиках? Рискну сказать, что две вещи – создание рекомендаций по выделению «Районов особой экологической важности» и «Морских охраняемых районов» и сбор фоновых экологических данных и мониторинг экологического воздействия, включая загрязнения. Безусловно, мы можем и должны получить детальные оценки биоразнообразия в местах планируемого техногенного воздействия на экосистемы. Его изменения, особенно исчезновение редких чувствительных к внешним воздействиям видов, является прекрасным индикатором изменений в экосистеме. Все это ключевые требования всех международных конвенций. Удовлетворение остальных более общих международных требований к охране экосистем и рациональному природопользованию при наших современных знаниях об Океане – дело очень далекого будущего. Достаточно вспомнить, что наши оценки первичной продукции Океана варьируют более, чем в три раза, а для Южного океана надежные оценки отсутствуют. Та же неопределенность и с запасами антарктического криля – от 380 млн. до 1 млрд. т., региональным размещением запасов мезопелагических рыб. Необходимые количественные представления о многих других фундаментальных характеристиках океанических экосистем и механизмах их изменчивости далеки от полноты. Экологические требования в международных документах сформулированы объемно и жестко, но при этом контроль за их выполнением не имеет твердых критериев и в большинстве случаев осуществляется международными чиновниками, а не учеными. Это открывает возможность для манипулирования мнением и решением комиссий. Поэтому, важнейшим аргументом в геополитической борьбе (а это, безусловно, геополитическая борьба) за доступ к разведке и добыче биологических и минеральных ресурсов Океана сейчас является сам факт проведения современных крупных экосистемных экспедиций в районах российских интересов в Океане, широкая публикация полученных материалов и широкое международное оповещение о таких исследованиях, подчеркивающее «факт присутствия» России в Международном Океане.

Могут ли институты РАН обеспечить проведение таких исследований? При целевой государственной финансовой поддержке и кооперации с другими ведомствами, безусловно, да. Это показывают проведенные в последние годы исследования экосистем морей Сибирской Арктики, в том числе и по трассе Северного морского пути. Проведенные масштабные экспедиции вывели Россию на лидирующие позиции в понимании явлений и процессов в эпиконтинентальной Арктике и сняли постоянно звучавшие международные претензии в том, что отсутствие наших национальных исследований тормозит изучение важнейшего региона Земли и создание необходимого всем странам прогноза происходящих в нем изменений. В распоряжении Российского Центра морских исследований имеется необходимый для проведения крупных морских экспедиций научный флот, намечена его модернизация и строительство новых судов. Введение в строй уникальных глубоководных аппаратов «Мир» могло бы за несколько лет выдвинуть Россию на передовые позиции в изучении экосистем районов перспективных для разведки и добычи минерального сырья со дна Океана. В целом, в институтах РАН имеется огромный уникальный задел в исследованиях экосистем открытых районов Океана и Антарктики. **Необходимо создание крупной государственной междисциплинарной программы «Экосистемы стратегически важных для России районов Мирового океана». Без результатов исследований по этой программе Россия не будет полноправно участвовать в формировании международной политики использования биологических и минеральных ресурсов открытых районов Мирового океана, их квотированию и не получит необходимого доступа к этим ресурсам.** Следует иметь в виду, что в будущем полноправный международный статус России в части раздела ресурсов Океана не только открывает прямой доступ к этим ресурсам, но и возможность продажи квот. Пример этого виден при распределении между странами допустимых выбросов CO₂.

Оценивая проведенные в последние годы российские исследования экосистем Сибирской морской Арктики, следует сказать, что их результаты могут быть использованы, если это понадобится, в качестве «экологического аргумента» при отклонении претензий на установление международной юрисдикции над Северным морским путем. Принцип, если освободить его от «шелухи», очень простой, как и в большинстве международных конвенций по управлению морскими ресурсами – мы лучше знаем, как устроены арктические экосистемы на трассе СМП и можем обеспечить соблюдение безущербной антропогенной нагрузки на его акваторию.

Безусловно, институтам РАН в исследованиях экосистем стратегически важных районов Мирового океана, в работе над большинством перечисленных проблем нужна кооперация с другими ведомствами. В части экологического обеспечения при разведке и добыче биологических ресурсов необходима кооперация с Федеральным агентством по рыболовству. Экологическое обеспечение доступа к разведке и промышленному освоению минеральных ресурсов требует тесного взаимодействия с Минприроды России и другими ведомствами, связанными с добычей полезных ископаемых со дна Океана. Геополитическая значимость исследований экосистем Океана будет использована МИД России и другими ведомствами, связанными с выработкой международной политики и отстаиванием интересов России.

В заключение хотелось бы напомнить ставшее тривиальным, но от этого не менее мудрым и дальновидным, высказывание Марка Твена о необходимости покупки земли в связи с тем, что Господь Бог ее больше не производит, и перефразировать его в отношении Океана: *надо всячески стремиться к владению Мировым океаном. Господь Бог его больше не производит, и это последнее, что человечеству осталось поделить на Земле.*



**ОТДЕЛЕНИЕ
ГЛОБАЛЬНЫХ
ПРОБЛЕМ И
МЕЖДУНАРОДНЫХ
ОТНОШЕНИЙ**



О.В. Буторина¹

Пределы глобализации. Вызовы для экономической науки

Мировая экономика бесповоротно изменилась после кризиса 2008 г. Шаткое и неравномерное восстановление, увеличение социальных и региональных разрывов всюду питают радикальные настроения, популизм и склонность к авторитаризму.

Идеология глобализма

Глобализм складывается как либеральная идеология в ответ на потрясения 1930-х годов. Протекционизм и автаркия сначала стали причиной Великой депрессии, а потом, как и предсказывал Кейнс, привели к новой мировой войне. Повторять этот опыт никто не хотел. И, хотя устроители послевоенного миропорядка понимали его не во всем одинаково, вокруг центральной идеи существовал широкий консенсус. Свободное движение товаров и людей будет способствовать эффективному размещению ресурсов, росту благосостояния и занятости во всем мире. Открытая экономическая система увеличивает общий пирог, выигрыш достается всем – бедным и богатым. Эта идея проходит красной нитью по основополагающим документам ООН, начиная с решений Бреттон-вудской валютной конференции 1944 г.

Вопрос о том, в какой мере и до какой поры будет прирастать общий пирог (то есть действовать эффект масштаба) в то время не ставится.

Либерализм переживает подъем в середине 1980-х годов на волне неоклассической революции. Нефтяные кризисы 1970-х, всплеск инфляции и безработицы, замедление темпов роста вынуждают правительства отбросить кейнсианские рецепты. На смену им приходит идеология свободного рынка. Монетаризм, ассоциируемый с именами М. Тэтчер и Р. Рейгана, переносит упор государственной политики со спроса на предложение. Теперь государству следует не расширять совокупный спрос, а пестовать частную инициативу: обеспечивать стабильность цен, снижать налоги и процентные ставки. Роль денежно-кредитной политики резко возрастает, центральные банки добиваются независимости от казначейств. Изменение ставки рефинансирования становится важнейшим рычагом макроэкономического управления.

На международном уровне альтернативы либерализации нет. Благодаря действиям ГАТТ/ВТО свобода торговли товарами охватывает почти весь мир. Вскоре она переходит на торговлю услугами, а потом и на трансграничное движение капиталов. Внутри ЕЭС полная либерализация движения капиталов достигается к 1992 г.

Триумф глобализма приходится на 1990-е годы. Здесь действуют два фактора. Во-первых, с распадом социалистической системы «вашингтонский консенсус» становится общим руководством к действию. Жизнь подтверждает правоту Ф. Хайека: нет такого компьютера, который способен подсчитать все потребности общества и составить адекватный план производства. Централизованная экономика обречена нерационально использовать ресурсы, поскольку лишь механизм рыночных цен может сводить воедино всю информацию о потребностях общества, откликаться на малейшие колебания спроса и направлять инвестиции туда, где этот спрос не удовлетворен [1].

Несостоятельность закрытой плановой экономики означает, что у Запада пропадает «значимый другой». Их левые силы и профсоюзы остаются без идейной опоры и политической поддержки. Вопрос о том, насколько пример реального социализма способствовал облагораживанию капитализма, считается неуместным. Внимание переключается на институты, правовое государство и гарантии прав

¹ Заместитель директора Института Европы РАН, доктор экономических наук

личности. Книга перуанского экономиста Эрнандо де Сото «Загадка капитала» переводится на десятки языков. На понятных примерах автор показывает, что даже у бедных стран есть огромные финансовые ресурсы. Но они лежат мертвым грузом, потому что в этих обществах права собственника не защищены, а демократические институты слабы и неэффективны [2].

Либеральная идеология получает широкое поле практического применения. Общественные реформы в России и других бывших социалистических странах начинаются с либерализации цен и внешнеэкономических связей. Приватизация, создание демократических институтов и действенных рыночных механизмов составляют суть трансформации. Европейский Союз закрепляет эти принципы в «копенгагенских критериях»; только выполнив их, государства Центральной и Восточной Европы могут подать заявку на вступление в ЕС. По этим критериям отбирает и финансирует проекты Европейский банк реконструкции и развития.

Во-вторых, развернувшаяся либерализация рынков капитала переводит мировую экономику в новое качество. Мировой финансовый рынок не только преодолевает государственные границы, но и выходит за пределы Западного мира. В 1990-е годы конвертируемыми становятся валюты подавляющего большинства развивающихся и бывших социалистических стран. К этому добавляются новые информационные технологии. Финансовые рынки становятся глобальными, простым нажатием клавиши миллионные суммы перемещаются из одной части света в другую. Финансовые рынки растут гораздо быстрее, чем реальная экономика. К началу XXI века такие показатели финансовой экономики, как совокупные банковские активы и долговые обязательства превышают объем мирового ВВП, а капитализация фондового рынка вплотную приближается к нему (рис. 1).

Особенно быстро увеличиваются валютные рынки. Если в 1989 г. их дневной оборот составляет 620 млрд долл., то в 2004 г. он подбирается к 2 трлн долл., а в 2016 г. переваливает за 5 трлн долл. И это в день. Тогда как мировой экспорт товаров и услуг за целый год равен 20 трлн долл. Отсюда понятно, что валютные рынки действуют по собственной логике и лишь в малой степени существуют для обслуживания внешней торговли.

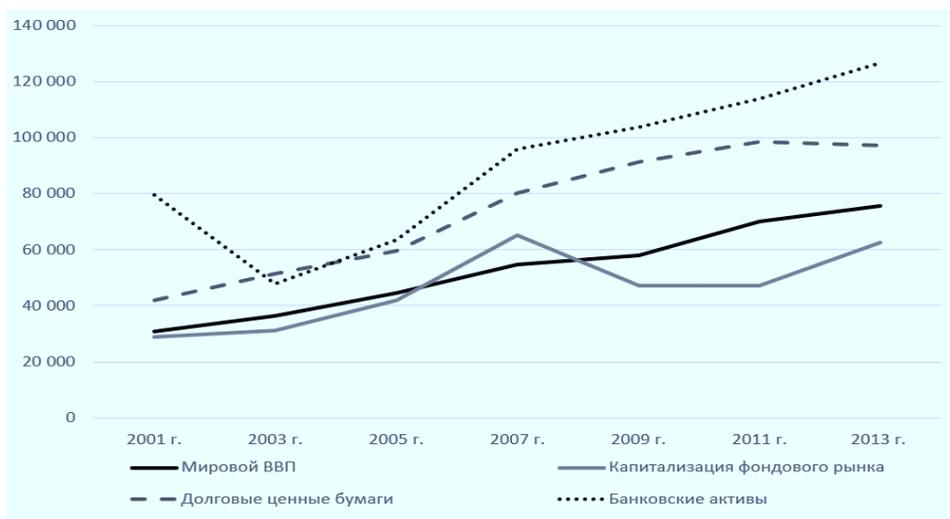


Рис. 1. Показатели реальной и финансовой мировой экономики, млрд долл.
Источник: International Monetary Fund, Financial Stability Report

Пределы глобализации

Сначала европейский валютный кризис 1992-1993 гг., а потом региональные финансовые кризисы в Юго-Восточной Азии и в России 1997-1998 гг. поражают скоростью распространения и размерами ущерба. Оказывается, что мировая экономика без перегородок весьма уязвима. Жертвой кризиса становятся даже страны со здоровой экономикой. Осенью 1992 г. шведский Риксбанк поднимает процентную ставку до 500% годовых в безуспешной попытке противостоять атакам на крону. Точно спланированные действия спекулянтов заставляют Великобританию девальвировать фунт стерлингов.

Ценность глобализации пока не подвергается сомнению. Считается, что надо лишь усовершенствовать систему глобального управления. Международные форумы включают все больше стран из разных регионов и занимаются антикризисной повесткой. Создается Форум финансовой стабильности (ныне Совет финансовой стабильности), развернута реформа МВФ, банки развития расширяют присутствие в государствах с формирующимися рынками.

Об опасностях глобализации уже пишут. Хайман Мински разрабатывает теорию финансовых рынков, в центре которой находится тезис о хрупкости финансовой системы. Он доказывает, что современная кредитная система несет в себе мощный дестабилизирующий заряд, а управление реальной экономикой в отрыве от финансовой системы ведет к дорогостоящим ошибкам [3]. Эти доводы остаются без внимания, пока не случается кризис 2008 г. Посмертно автор получает мировое признание, его труды переиздают, а сам он причисляется к классикам. Финансовые инновации действительно вывели рынки из-под контроля.

Дэни Родрик развивает идею о том, что отдача от глобализации неодинакова на ее различных этапах. Сначала пирог увеличивается быстро, а потом все медленнее. Наибольшие выгоды приобретаются в ходе либерализации торговли, которая в целом завершена к началу 1990-х гг. Зато на продвинутых стадиях издержки глобализации начинают увеличиваться. Более того, они распределяются крайне неравномерно. Для некоторых локальных рынков экономический ущерб от дополнительной порции глобализации (то есть открытия внутреннего рынка) может быть слишком большим и социально неприемлемым [4].

Вышедшая в 2013 г. книга Тома Пиккетти «Капитал XXI века» производит переворот в представлениях об облагороженном капитализме. На циклопическом статистическом материале автор доказывает, что богатыми во Франции сейчас являются те семьи, которые были богатыми сто и больше лет назад. Путь вверх для человека из низов куда труднее, чем принято считать. Когда экономика попадает в фазу стагнации, наибольшие потери несут именно малообеспеченные слои населения. Хуже всего то, что рост неравенства подрывает базу для будущего развития [5].

Глобализация, несомненно, вносит вклад в экономическое развитие отсталых регионов. Пример Китая и государств Юго-Восточной Азии – яркое тому подтверждение. Во второй половине XX в. население Африки, Азии, Южной и Центральной Америки росло быстрее, чем население Европы и Северной Америки. Если в 1950 г. в Европе проживало 23% землян, то в 2050 г. их будет только 7%. Сближение размеров ВВП развитых и развивающихся странами особенно заметно после 2000 г. Правда без солидного вклада китайской экономики успехи догоняющего развития не кажутся бесспорными (рис. 2, левая сторона).

Иначе выглядит картина душевого дохода. С 1970 г. доход на душу населения в развивающихся странах увеличился с 1,7 тыс. долл. до 4,2 тыс. долл. Люди стали лучше питаться и одеваться, приобретать бытовую технику и путешествовать. Улицы Шанхая и Пекина теперь запружены не велосипедами, а автомобилями. Мобильные

телефоны и мобильные платежи стали неотъемлемой частью жизни в отдаленных уголках Африки, Азии и Латинской Америки. Но за эти же неполные полвека доход на одного жителя развитых стран поднялся с 18,7 до 44,9 тыс. долл. То есть абсолютный разрыв между двумя группами увеличился с 17 до 44 тыс. долл. Траектории номинального душевого дохода не сходятся, а расходятся (рис. 2, правая сторона).

Существует проблема цифрового неравенства. Хотя гаджеты постепенно дешевеют, новые модели всегда стоят дорого. Их цена определяется покупательной способностью наиболее состоятельных слоев населения. То же касается программного обеспечения. Рядовой болгарской или индийской семье покупка компьютера с необходимой «начинкой» обходится в гораздо большую часть годового дохода, чем среднему шведскому или канадскому домохозяйству.

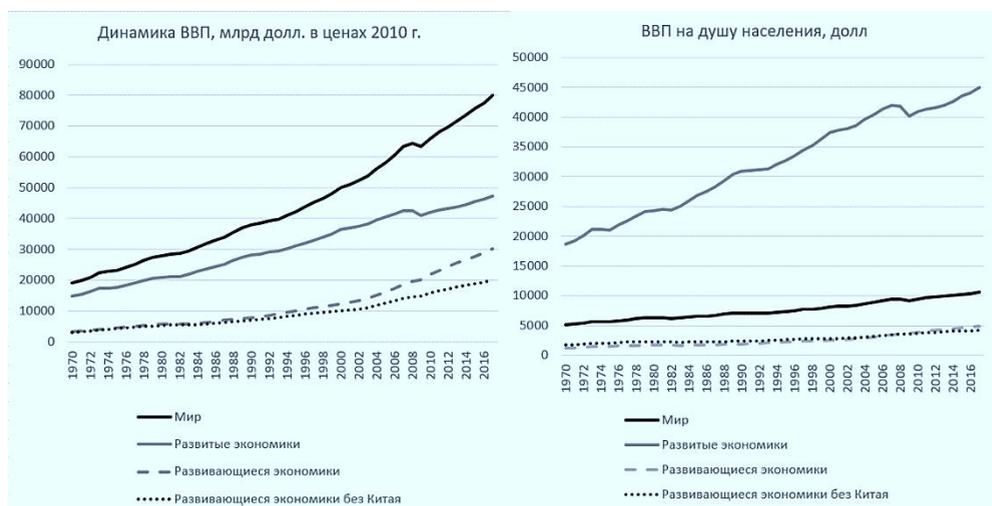


Рис. 2. Динамика абсолютного и душевого ВВП в 1970-2017 гг. по группам стран.
Источник: база данных UNCTADStat

В промышленно развитых и бывших социалистических странах глобализация привела к деиндустриализации. Вместе с ней исчезли не только целые отрасли и рабочие места. Деиндустриализация вызвала социальные деформации, разрушила массовую занятость и потому подорвала силу профсоюзов. Приток товаров из Китая и других развивающихся стран, где у наемных рабочих нет социальных гарантий и пенсий, равносителен социальному демпингу. В последние два десятилетия в Западной Европе формируется двухуровневый рынок труда. Работники старших возрастов продолжают трудиться по контрактам бессрочного найма. Молодым работникам предлагают временные трудовые контракты. По истечении срока действия договора работодатель может не продлить его, то есть уволить работника без выплаты пособия. Вследствие кризиса особенно поднялась безработица среди молодежи (в возрасте до 25 лет), в отдельных странах ЕС она составила 50%. Работодатели поспешили воспользоваться этим: в практику вошли многомесячные неоплачиваемые стажировки. Молодые люди соглашались работать бесплатно в надежде на дальнейшее трудоустройство. Данная ситуация – следствие азиатской экспансии и падения социализма. Гай Стэндинг вводит понятие прекариата: это молодежь низов, обездоленная, плохо образованная и весьма опасная для общества [6].

На пути глобализации встают структурные ограничения. В настоящее время доля торговли товарами и услугами в мировом ВВП лишь ненамного выше, чем в 1980 г., за прошедшие десятилетия она так и не превысила отметки в 30%. То есть, предметом международной торговли является не больше трети производимых в мире товаров и услуг (рис. 3).

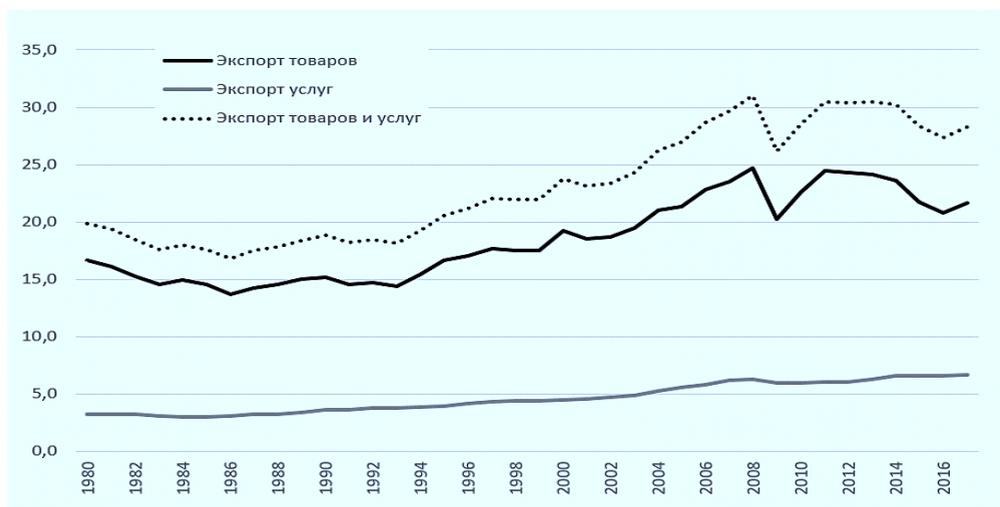


Рис. 3. Отношение экспорта товаров и услуг к мировому ВВП в 1980 – 2017 гг., %.
Источник: база данных UNCTADStat

На пути интернационализации встает меняющаяся структура экономики, где сегодня почти 70% приходится на долю услуг. На протяжении 1970 – 2016 гг. доля промышленности в производстве мировой добавленной стоимости сократилась с 37% до 28%, а сельского хозяйства – с 9% до 4%. Однако основная часть услуг потребляется на месте и не может экспортироваться в принципе. Сюда относятся: оптовая и розничная торговля, общественное питание, складские услуги и услуги связи, наибольшая часть образовательных и медицинских услуг, спортивные секции, развлечения и т.п.

Глобализацию останавливает создаваемая ею же иерархия отношений между главными получателями выгод и теми, на кого ложатся основные издержки. Процесс разделения на группы принято называть стратификацией, доступ к условному пирогу зависит от места расположения страны или региона на линии «центр» - «периферия». Стратификация происходит по разным направлениям – от политики и экономики до сферы инноваций, культуры и языка (что хорошо видно по современной роли английского языка). Авторы одного из наиболее авторитетных трудов о глобализации считают, что в ее основе лежит распределение властных полномочий [7].

Рыночные силы могут воспроизводить существующую иерархию, закрепляя высокое положение одних и низкое других. Сам факт конкуренции не гарантирует игрокам второго ряда равных условий соревнования. Наглядный пример самоподдерживающейся иерархии – международные валютные рынки. За свою двадцатилетнюю историю единая европейская валюта евро не смогла потеснить доллар. Ее доля в общем обороте составляет около трети. Китайский юань, несмотря на впечатляющий рост экономики КНР, поднялся с 0 до 4%. Зато доля доллара постоянно держалась на уровне около 90%. Это означает, что доллар участвовал в

деяти сделках из десяти. И только 10% сделок совершаются без его участия, например, при обмене евро на фунт стерлингов или евро на японскую иену (табл. 1).

Таблица 1

Распределение оборота мировых валютных рынков по видам валют, %

	2001	2004	2007	2010	2013	2016
Доллар США	89,9	88,0	85,6	84,9	87,0	87,6
Евро	37,9	37,4	37,0	39,0	33,4	31,4
Японская иена	23,5	20,8	17,2	19,0	23,0	21,6
Фунт стерлингов	13,0	16,5	14,9	12,9	11,8	12,8
Швейцарский франк	6,0	6,0	6,8	6,3	5,2	4,8
Австралийский доллар	4,3	6,0	6,6	7,6	8,6	6,9
Канадский доллар	4,5	4,2	4,3	5,3	4,6	5,1
Китайский юань	0,0	0,1	0,5	0,9	2,2	4,0
Российский рубль	0,3	0,6	0,7	0,9	1,6	1,1
Прочие валюты	20,6	20,4	26,4	23,2	22,6	24,7
Итого	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0

Источник: Банк международных расчетов в Базеле. Triennial Central Bank Survey. Foreign Exchange Turnover in April 2016. Режим доступа: <https://www.bis.org/publ/rpfx16fx.pdf>

Примечание: общий итог равен 200%, поскольку в каждой операции участвуют две валюты. Приведение к привычному итогу в 100% лишило бы данные экономического содержания. Так, показатель 30% означает, что данная валюта участвует в трех сделках из десяти (при условии равенства их объемов), но показатель 15% не имел бы смысла.

Доминирование доллара объясняется не только большим спросом на доллары как на валюту внешнеторговых сделок и инвестиций. Главная причина – использование его в качестве ведущей валюты (англ. – vehicle currency), или валюты-посредника при обмене других денежных единиц друг на друга. Достаточно сказать, что валюты одного региона – китайский юань, южнокорейская вона, гонконгский доллар и японская иена – не обмениваются напрямую. Постоянный огромный спрос на доллар США (свыше 4 трлн долл. в день) сужает до минимума банковские спреды – разницу между курсом покупки и продажи – на этом рынке. Рыночный механизм воспроизводит существующее положение: чем уже спред, тем больше спрос на валюту в ее посреднической функции; чем больше оборот, тем уже спред. Эффект масштаба работает на лидера и против всех остальных.

Вызовы и ответы экономической науки

До мирового финансового кризиса 2008-2009 гг. в мировой экономической науке безраздельно господствовала неоклассическая теория. Она составляла стержень так называемого мейнстрима – совокупности устоявшихся и наиболее влиятельных воззрений, находящих применение в экономической политике ведущих стран мира. В мейнстрим также вошли многие наработки новой институциональной теории [8].

Происходящая после кризиса трансформация мировой экономической мысли вызвана несколькими факторами.

Во-первых, никто не предсказал кризис. Не сумел обнаружить его эпицентр и объяснить логику распространения. Схема кризиса, которую ныне может изобразить студент-старшекурсник, оставалась до 2010 г. скрытой от понимания лидеров мейнстрима. Не лучше обстояли дела и в практике. Сигналы перегрева экономики повсюду игнорировались. Например, в еврозоне Испания, Португалия, Греция не раз докладывали Европейскому центральному банку (ЕЦБ) об опасном буме на кредитном рынке и рынке недвижимости. Однако ЕЦБ действовал в интересах крупнейших экономик – Германии, Франции и Италии – позволяя им как можно дольше пользоваться плодами высокой конъюнктуры.

Одной из причин интеллектуального поражения стало чрезмерное увлечение математикой. Роль количественных методов возрастала с 1980-х годов по мере того, как хозяйственные процессы начали рассматриваться в динамике с учетом высокой неопределенности, в которой принимают решения отдельные люди и компании. Все это потребовало сложных эконометрических моделей и новейшего математического аппарата. В 1990-е гг. научные работы по экономике наполнились уравнениями и формулами, в экономику массово двинулись выпускники физико-математических факультетов. Казалось, что она вот-вот станет точной наукой. Изысканный математический аппарат, однако, не избавлял от ошибки первого шага. Модели содержали некорректные допущения. Математики охотились за большими объемами данных, поэтому предмет исследования смещался туда, где они имелись. Плохо поддающиеся анализу явления обходились стороной. Традиционное обдумывание процессов и взаимосвязей выглядело устаревшим.

Сложные модели мало дали для понимания природы кризиса и для выработки практических антикризисных мер. Результаты банковских стресс-тестов, регулярно проводившихся в зоне евро, не имели ничего общего с тем, как развивались события после краха Lehman Brothers. Излишне полагаясь на математические методы и модели, отмечал позже член дирекции ЕЦБ Ив Мерш, экономисты забывают о решающей роли социального поведения. Экономические модели, конечно, нужны. Но ни одно уравнение не способно вместить в себя всю сложность человеческой природы [9].

Сегодня экономика возвращается в гуманитарное лоно. Понимание природы человека и логики поведения рынков выходит на первый план. Политическая экономия снова включена в список университетских дисциплин.

Во-вторых, монетаризм отступает и на практике, и в теории. С последствиями кризиса во всем мире боролись кейнсианскими рецептами. Правительствам пришлось преодолевать провалы рынка посредством прямого вмешательства в экономику. В США власти спасали фондовый рынок, в Западной Европе – банковский сектор. Политика количественного смягчения, то есть вливание в экономику значительных объемов ликвидности, помогла вывести экономику из депрессии.

Вопреки количественной теории денег, это не повлекло роста цен. Инфляция, изученная вдоль и поперек со времен римского императора Диоклетиана, снова обернулась загадкой. Ее динамика в кризисные и посткризисные годы часто шла вразрез с экономической теорией. Еврозона несколько лет балансировала на грани дефляции, рискуя повторить судьбу Японии. Брошенные на это направление интеллектуальные силы не выявили методов, при помощи которых центральный банк мог бы стимулировать рост цен. Сейчас, вероятно, формируется новая нормальность, когда цены будут оставаться на низком уровне из-за наплыва дешевых товаров из развивающихся стран, умеренного спроса на топливо и электронной торговли (где продавец несет гораздо меньше расходов, чем в обычном магазине). То есть, глобализация меняет природу ценообразования.

Применение монетаристских методов достигло физического предела. Пытаясь оживить экономику, центральные банки снижали ставки, и теперь они дошли до нуля. Следовательно, исчезло поле для маневрирования ими. Замерли многочисленные рычаги и шкивы трансмиссионного механизма, посредством которого ставки центробанков пронизывают всю экономическую систему – от межбанковского денежного рынка до кредитов домохозяйствам. Перестали работать и эталонные ставки денежного рынка – из-за остановки межбанковского рынка и манипуляций первоклассных банков. Во весь рост встала проблема, получившая название нулевой нижней границы (англ. – zero lower bound) [10].

В-третьих, потенциал экономической науки прирастает за счет «второстепенных» дисциплин. Из тени посторонившегося мейнстрима выходят несколько перспективных направлений гуманитарного свойства: экономические история, антропология, социология, этика и даже риторика.

Резко повысился интерес к экономической истории. При этом в ней обнаружилось немислимое для информационного общества число белых пятен. Исторические методы исследований в соединении с новыми технологиями становятся все более популярными и авторитетными. Обращаясь к прошлому, историки ищут движущие силы экономического роста и причины неравенства. В отличие от теоретических моделей, их исследования опираются на обширный эмпирический материал.

Британский исследователь Грегори Кларк на основе анализа огромного массива данных делает вывод, что разница в хозяйственном развитии объясняется не столько разной степенью технологической оснащенности и доступности финансирования, сколько семейными практиками. Проще говоря, воспитанием и традициями. Поскольку от них зависит ежедневное поведение человека, в том числе производственная дисциплина, и то, как он решает возникающие задачи [11].

Только в 2010 г. выходит первая комплексная работа об экономической истории Европы, где главы посвящены не странам, а проблемам. Сквозной взгляд позволяет констатировать устойчивые различия в хозяйственных системах и практиках европейских народов [12]. Вольно или невольно авторы призывают коллег умерить гордыню: раз эти различия существуют столетиями, значит, они имеют глубокие историко-культурные корни. А потому было бы самонадеянно считать, что добросовестное внедрение принципов рыночной экономики решит проблему отсталости.

Подобные размышления помогут экономистам с новыми силами взяться за решение практических проблем догоняющего развития. Это особенно актуально для России и стран постсоветского пространства, чьи хозяйства, несмотря на завершующую трансформацию, имеют ряд существенных отличий от зрелой рыночной экономики. Они выражаются не только в душевом доходе, но и в структуре производства, инновационном потенциале, глубине и ликвидности финансовых рынков, степени интернационализации валюты. Данные страны, например, не могут проводить заимствования на внешних рынках в национальной валюте. Между тем, теоретические усилия науки до сих пор направляются на решение задач абстрактной зрелой экономики. А международные организации подают развивающимся странам универсальные советы, почерпнутые из опыта развитых рынков.

Подъем переживает экономическая антропология [13]. Сегодня экономисты признают, что обмены совершаются не только ради прибыли. Они – неотъемлемый инструмент социального взаимодействия. Хрестоматийная работа Маршалла Салинза [14] оказывается весьма актуальной для цифровой эпохи. Наблюдая за аборигенами, которые объезжают остров на лодках и меняют у соседей корзины на горшки, а потом горшки на корзины, Салинз установил, что целью «торговли» является не прибыль, а подтверждение добрососедских отношений, гарантии мира и получение информации. Эти блага снижают риски общественного развития, их ценность не идет ни в какое сравнение с горшками.

Цифровая эра порождает новую архаику. Современные люди с удивлением обнаруживают сходство с доисторическими предками. И дело не только в том, что социальные сети позволяют выставлять на показ реальные и мнимые достижения. Информационное общество деформирует механизм ценообразования.

Теперь известно, что денежной экономике предшествовал не бартер, а экономика дара. Кстати, ее характерные черты с точностью передал Гомер [15], творивший примерно в X в. до нашей эры, за триста лет до появления первых монет в Лидии.

Сегодня экономика дара возвращается. Одни и те же вещи могут быть одновременно доступны на платной и бесплатной основе, например, бумажные и электронные книги, музыкальные записи, кинофильмы. Проводимые в сети кампании краудфандинга многократно расширяют базу потенциальных дарителей и упрощают процедуру пожертвования. Люди переводят деньги на самые разные цели – от защиты животных до издания мемуаров. Через сеть организуется бесплатная раздача ставших ненужными, но годных к употреблению вещей. Многие электронные СМИ и фотобанки существуют на добровольные взносы. Прочитать статью или скачать фото можно бесплатно, а можно «угостить автора чашкой кофе», то есть заплатить небольшую сумму.

Распространение дара размывает хайковское представление о цене. Оформившаяся в эпоху модерна идея о том, что только механизм свободного ценообразования позволяет эффективно распределять ресурсы, вступает в противоречие с практикой. Информационное общество делает шаг в сторону новой архаики, где акты дарения, принятия или отказа от дара, выступают важными инструментами поддержания социальных связей и представлений каждого члена общества о своем месте в нем. О неуловимой границе между актом купли-продажи, даром, откупом, возвратом долга, а также о взаимном превращении этих социальных актов убедительно пишет социальный антрополог Ссорин-Чайков [16].

Экономическая этика становится все более важной частью практики хозяйствования и, соответственно, научной мысли. К этому толкают возрастающие экологические и социальные задачи. Зеленая экономика и корпоративное социальное поведение успешно выделились из благотворительности, здесь развивается своя логика, основанная на попытке гармонично соединить потребности общества с предпринимательским расчетом. Потребители привыкают видеть на этикетках ввезенных из развивающихся стран товаров указания на то, что они произведены с соблюдением экологических норм и при справедливых условиях труда. Покупая такой товар, потребитель ориентируется не только на цену, но и на свои ценности. Сэкономленный рубль для него может быть менее важным, чем представление о смысле жизни.

Свое законное место в ряду гуманитарных наук занимает экономическая социология, изучающая хозяйственную деятельность с точки зрения социальной теории, поведения рынков, государства, групп людей и отдельных домохозяйств. Дисциплина прочно вошла в университетские программы, в мире издается все больше журналов и книг по данной тематике. Неожиданная для традиционалистов экономическая риторика, где бесстрашным лидером выступает американская исследовательница Дейдра Маккроски [17], заставляет согласиться с простой истиной. Развитие экономики решительным образом зависит от того, как именно, какими словами мы о ней говорим. Поскольку экономика, в отличие от движения планет, не существует без людей, их убеждений, идей и оценок.

Некоторые обобщения. Исчерпание ресурсов глобализации выталкивает экономическую науку из привычных рамок модерна. Значимость материальных ценностей снижается, а эмоций и социальных взаимодействий растет. Экономика гуманизируется, делая усилия для познания природы человека. «Большие данные» помогут кардинально повысить достоверность нового знания. Для их обработки потребуются сложные расчеты, что заново определит место математики в экономической науке.

В ближайшие годы экономике, как когда-то физике и медицине, предстоит великий переход от науки опыта к доказательной науке.

Литература

1. Хайек, Фридрих Август фон. Дорога к рабству. М.: Новое издательство, 2005, 264 с.
2. Сото, Эрнандо де. Загадка капитала. Почему капитализм торжествует на Западе и терпит поражение во всем остальном мире. М.: Олимп Бизнес, 2004.
3. Minsky, Hayman. Can "It" happen again? Essays on instability and finance. M.E. Shape, 1982; Minsky, P. Hayman. Stabilizing an unstable economy. Yale University Press, 1986.
4. Rodrik, Dany. Has globalization gone too far? Institute for international economics, 1997; Rodrik, Dany. The globalization paradox: Democracy and the future of the world economy, W.W. Norton & Company, 2012.
5. Русскоязычное издание: Пикетти, Томас. Капитал XXI века. М.: «Ад Маргинеем», 2016, 592 с.
6. Standing, Guy. The Precariat: The New Dangerous Class, Bloomsbury, 2011.
7. Хелд Д., Гольдблатт Д., Макгрю Э., Перратон Дж. Глобальные трансформации. Политика, экономика и культура. М.: «Праксис», 2004.
8. Осадчая И.М. Эволюция современной макроэкономической теории //Мировая экономика и международные отношения. 2008. № 2, с. 3-13.
9. Economic Policy and the Need for Humility. Speech by Yves Mersch, Member of the Executive Board of the ECB, at the Conference «Banking and Financial Regulation», Bocconi University, 9 October 2017.
10. Свежие публикации на тему: Chattopadhyay, Siddhartha and Daniel, Betty C. Taylor-Rule Exit Policies for the Zero Lower Bound; Lombardi, Marco and Zhu, Feng. A Shadow Policy Rate to Calibrate U.S. Monetary Policy at the Zero Lower Bound. International Journal of Central Banking, December 2018.
11. Кларк, Грегори. Прощай, нищета! Краткая экономическая история мира. М.: Издательство Института Гайдара, 2012, 304 с.
12. The Cambridge Economic History of Modern Europe. Broadberry S., O'Rourke K.H. (Eds.) Volume 1: 1700-1870. Volume 2: 1870 to the Present. Cambridge University Press, 2010.
13. Пьер Бурдьё. Экономическая антропология: курс лекций в Коллеж де Франс (1992–1993). М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2019, 416 с.
14. Салинз, Маршалл. Экономика каменного века. М.: «ОГИ», 1999.
15. Вспомним прекрасное – беседу Афины с сыном Одиссея Телемахом (Гомер. Одиссея. 1, 310-320, перевод В.В. Вересаева):
«С радостным духом потом унесешь на корабль ты подарок
Ценный, прекрасный, который тебе поднесу я на память,
Как меж гостей и хозяев бывает, приятных друг другу».
Так отвечала ему совоокая дева Афина:
«Нет, не задерживай нынче меня, тороплюсь я в дорогу.
Дар же, что милое сердце тебя побуждает вручить мне,
Я, возвращаясь обратно, приму и домой с ним уеду,
Дар получив дорогой и таким же тебя отдаривши».
16. Ссорин-Чайков Н.В. Медвежья шкура и макароны: о социальной жизни вещей в сибирском совхозе и перформативности различий дара и товара. Экономическая социология. Т. 13. № 2. Март 2012, с. 59 – 81.
17. Макклоски, Дейдра Н. Риторика экономической науки. Издательство «Международные отношения», Факультет свободных искусств и наук СПбГУ, 2015, 328 с.

Современная политика России на Ближнем и Среднем Востоке требует не только фактов и анализа сегодняшнего дня, но и небольшого исторического экскурса.

Большевики, взявшие власть в России в 1917 году, не знали реалий Востока. Их подход к колониальной системе основывался на уже в то время устаревших сочинениях Гильфердинга и Гобсона. Однако стратегически политические решения зачастую основываются не на разносторонних детальными и глубоких знаниях реалий, а на «озарении». Таким «озарением» для руководства СССР было понимание высочайшей несправедливости угнетения одних наций другими, а точнее правящей элитой империалистических стран своих колоний. В самых разных формах и с разными целями помощь в освобождении колоний определяла достаточно успешную политику СССР в «третьем мире» вплоть до распада страны.

Однако с самого начала появились противоречия между идеологией и государственной практикой. Идеология диктовала методы антиколониальной борьбы под руководством «братских» партий и создание каких-то режимов по образцу советского, а практика требовала установления межгосударственных отношений, соответствующих интересам России. Практика, то есть «прагматизм» в этом регионе преобладал, хотя допускались тяжелые ошибки (интервенция в Афганистан).

Прежние левацкие установки XIX съезда КПСС о том, что «национальная буржуазия выбросила за борт знамя национальных свобод», какое-то время препятствовали развитию сотрудничества с арабскими странами, Индией, Индонезией. Но руководство СССР верно оценило антизападный потенциал националистического руководства в ряде арабских стран, в Индии, Индонезии и на этой базе стало развивать все углубляющееся сотрудничество с ними.

В ходе арабо-израильских конфликтов СССР занял позицию поддержки арабов, практически спас их от полного поражения и падения местных режимов в войнах 1956, 1967, 1970-71 и 1973 годов. Однако, помогая арабам, СССР никогда не ставил вопрос о праве Израиля на существование. Фактически в перерывах между войнами ситуация «ни мира, ни войны» в наибольшей степени устраивала советское руководство.

Внутреннее развитие арабских стран шло по пути укрепления рыночных, капиталистических отношений и объективно арабские элиты стремились к расширению сотрудничества с Западом. Урегулирование арабо-израильского конфликта было передано в руки США. По своим экономическим показателям Советский Союз не мог представлять собой замену странам Запада для арабских и других региональных государств. Попытки копирования советской системы в Южном Йемене или в африканской стране Эфиопии оказались полностью провальными.

Кризис советской социально-политической системы, особенно экономический компонент и идеология, гонка вооружений с гораздо более мощным экономическим противником, изматывающая российскую экономику, привели к деградации и политического руководства, которое совершало одну ошибку за другой.

В условиях, когда горбачевское руководство сделало ставку на попытку скопировать западную социально-политическую систему (особенно ярко это стало проявляться во время правления Б. Ельцина), надеясь на вхождение в западные структуры, ближневосточный конфликт потерял какую-либо ценность для России. Были восстановлены дипломатические отношения с Израилем и разрешена свобода эмиграции российских евреев в Израиль.

¹ Почетный президент Института Африки РАН, академик РАН

Почти на десятилетие Россия отошла от какой-то активной роли в регионе. В ходе кувейтского кризиса и разгрома силами коалиции во главе с США режима Саддама Хусейна Россия пыталась продемонстрировать, что она может вместе с США решать ближневосточные проблемы (Мадридский процесс). Однако ситуация заключалась в том, что ни Израиль, ни США, ни страны Западной Европы не хотели видеть Россию в числе тех, кто определяет ситуацию в регионе.

Надежды российского руководства и населения, обработанного СМИ, на вхождение России в западный мир, быстро развеялись, когда стали ясны западные двойные и тройные стандарты. В ответ на уступки после распада СССР Россия не получила ничего.

События 11 сентября 2001 года стали фактом воздействия на международную ситуацию, признанным как на Западе, так и в России. Правда, кто реально стоял за организацией терактов в США, может вызывать вопросы.

Когда под предлогом этих терактов США решили вторгнуться в Афганистан, Россия поддержала их действия. Кабул был взят не американскими войсками, а группировкой афганского Северного альянса, вооруженного Россией и Ираном. Дальнейшее сотрудничество России и США ограничилось предоставлением логистики по переброске людей и грузов в Афганистан через территорию России, кое-каким обменам опытом спецслужб. Призыв России расширить это сотрудничество был проигнорирован.

Вторжение США в Ирак разорвало страну, породило гражданскую войну и появление джихадистского «Исламского государства». Эта интервенция произошла без решения Совбеза ООН, на основе сфабрикованных сведений. РФ признала новую ситуацию как факт. Но дальше отступить, ничего не получая взамен, было невозможно. Прозвучала «мюнхенская речь» В.В. Путина 2007 г., после чего он посетил Саудовскую Аравию. Расширилось сотрудничество с другими государствами региона.

Арабские революции были вызваны, прежде всего, внутренними причинами, хотя в них слились и внутренние конфликты, и рост проблем молодежи, и воздействие СМИ и информационных технологий, и призывы к «демократии» из стран Запада. РФ была нейтральна к событиям «арабской весны». Но когда были передернуты положения резолюции № 1973 Совбеза ООН по Ливии, и НАТО «пробомбила» оппозиции путь к власти, а сама оппозиция оказалась сборищем джихадистов, племенных формирований и бандгрупп, Россия решила не допустить повторения этих событий в Сирии.

В Сирии стоял вопрос: или – или. Или сохранится авторитарный светский режим со всеми его плюсами и минусами, или власть возьмут оголтелые джихадисты, будет разрушена сирийская государственность и конфликт разгорится дальше, в том числе распространится на соседние страны, на Центральную Азию и даже Россию. Сирия стала оселком мировой политики.

Вмешательство ВКС РФ в Сирии ставило двуединую задачу: во-первых, нанести поражение джихадистам и спасти режим. Эта задача выполнена. Во-вторых, продемонстрировать военные возможности РФ для Запада и провести обкатку боевой техники и людей. В-третьих, установить военно-тактическое сотрудничество с США на техническом уровне (что удалось) и на политическом уровне (что было гораздо менее успешным). Трудности сейчас: как найти выход из кризиса, сохранив достижения: базы в Сирии и сотрудничество с режимом, который придет нынешнему на смену. Но события в Сирии зашли в тупик: фактический раскол страны при сохранении режима на большей части территории и большей части населения. Без России будущее Сирии не решить. После военных побед В.В. Путин «заставил»

сирийское руководство вновь заняться женевскими переговорами, участвовать в выработке новой конституции, идти к политическому решению.

Что хочет Россия в регионе? Стабильность, мир, предсказуемость, безопасность (особенно путей снабжения, трубопроводов, авиа- и морских сообщений). РФ не может быть в силу своей экономической относительной слабости «дирижером» ближневосточного концерта, но является важным игроком. Казалось бы, ее политика не противоречит интересам и США, и Запада. Но на деле через СМИ, которые стали частью большой политики и большой лжи, стоит задача ошельмовать РФ и «выкинуть» ее из региона. В 2016 г. в Минобороны России прошла военно-научная конференция по обобщению опыта действий российской группировки в Сирии. Министр обороны России С. Шойгу заявил, что, как показывает анализ развития обстановки в мире, в ближайшей перспективе вероятность возникновения военных конфликтов сохранится. «Такие кризисные ситуации, как в Сирии, могут быть спровоцированы в любой стране, в том числе в постсоветских государствах Центральной Азии и Закавказья. В этих условиях Россия будет вынуждена адекватно реагировать на потенциальную угрозу».

На Ближнем и Среднем Востоке Россия Западу мешает. Хаос? Пусть будет хаос. Для Израиля это означает усиление его безопасности. США уже не нуждаются в ближневосточной нефти и газе. Для Европы гидрокарбонаты нужны. С точки зрения США страна, не подчиняющаяся Вашингтону, должна быть раздавлена. Поэтому беспрецедентен разрыв атомной сделки с Ираном, вопреки подписанному договору, вопреки нормам международного права, с опасными последствиями.

Пока ничего конструктивного в политике США не предвидится. Ни в отношениях с Ираном, где нарастают внутренние противоречия, ни с Турцией, где нарастают противоречия другого рода. Сейчас уже никто не может гарантировать стабильность и предсказуемость не только в регионе, но даже в евроатлантической зоне, даже во взаимоотношениях между США и Китаем, не говоря о Ближнем и Среднем Востоке. В мире обостряются противоречия, связанные с неравномерностью развития, с соперничеством ценностных ориентиров, появляется угроза хаотизации всей мировой системы. Россия пока не может быть по основным экономическим показателям главным актором и полицентричного мира, и конкретно в этом регионе, какова бы ни была велика ее роль в Сирии. Однако сотрудничество и с местными акторами, и с мировыми державами может охватывать широкий спектр: нераспространение ядерного и другого оружия массового уничтожения, предотвращение неконтролируемого трафика оружия, нелегальной миграции, торговли людьми, незаконного оборота наркотических и психотропных средств. Местные проблемы экономической безопасности, изменение климата, доступа к воде могут решаться только совместными усилиями.

На первом месте стоит терроризм, вернее исламистский экстремизм. «Россия рассматривает борьбу с международным терроризмом в качестве важнейшей государственной задачи и ключевого приоритета в сфере международной безопасности», – говорится в Концепции внешней политики Российской Федерации. Полная «победа» над экстремизмом и терроризмом возможна совместными усилиями при коренной замене социально-политических, экономических, психологических условий во всемирном масштабе, установлении отношений равенства, взаимоуважения. Проекты «Исламского государства», всемирного или местного халифата, – сами по себе средневековые и фактически обречены на провал. Но идеи могут возрождаться и привлекать к себе новых сторонников.

А что Россия? Россия будет соблюдать сдержанность, искать конструктивные решения, укреплять двусторонние (а иногда и трехсторонние отношения – пример РФ

– Турция – Иран) со всеми странами региона (визит саудовского короля в РФ в 2017 г.). РФ не собирается подрывать альянса Египта и США, Саудовской Аравии и США. Другое дело, что Вашингтон сам подрывает стабильность и предсказуемость.

Россия сделала в политике упор на двусторонние отношения. Их экономический компонент стал главным и увеличился вместе с выходом страны из кризиса, с улучшением внешнеэкономических связей, хотя еще далеко несовершенных. Строительство атомных электростанций и запуск спутников показывают, что Россия может быть партнером и в области высоких технологий.

Значительный рост экономического обмена между Россией и странами Ближнего и Среднего Востока – дело будущего, пока же экспорт российского оружия остается важной частью ее экономической экспансии.

Брожение в регионе с терактами, взрывами и даже войнами будет продолжаться на уровне или нынешнего или более умеренного хаоса. Политические течения, выступающие за различные варианты развития, будут искать свои модели. Либерально-демократические, исламские, исламистские, какие-то свои собственные. Россия продемонстрировала, что она с одинаковым доброжелательством и нейтралитетом относится к любым социально-политическим экспериментам, которые здесь проходят, за исключением крайнего экстремизма и терроризма, ставшего уже всемирной угрозой.

На сочетании общих интересов и стремлении сузить или игнорировать противоречия будут строиться отношения России с Турцией с учетом появления здесь и в Сирии негосударственных акторов, в частности, курдов. Не жертвуя принципами, Москва стремится сохранить нормальные отношения с правительствами тех стран, где они проживают. Но курдская проблема, которая затрагивает Ирак, Турцию, Иран и Сирию, – самый крепкий орешек. В курдском вопросе Россия по-прежнему «сидит на заборе». Позиция некомфортабельная, но лучшей пока нет.

Россия проводит линию на всестороннее развитие сотрудничества с Исламской Республикой Иран, а также добивается последовательной реализации всеобъемлющей договоренности по урегулированию ситуации вокруг иранской ядерной программы на основе соответствующей резолюции Совета Безопасности ООН, решений Совета управляющих МАГАТЭ и оказывает этому процессу всестороннее содействие.

С Египтом Россию связывают особые отношения. Казалось бы, обе страны бесконечно различны своей историей, культурой, религией, масштабом, образом жизни, географически довольно далеки друг от друга. Менялись режимы, идеология, политика. Но оказалось, что их высшие государственные интересы никогда не сталкивались, но дополняли друг друга. На этой основе будет строиться их общее будущее.

Преобразование Ближнего и Среднего Востока в подлинную зону мира и стабильности, в т.ч. урегулирование «матери всех конфликтов» – арабо-израильского, соответствовало бы и краткосрочным, и долгосрочным интересам России. Москва продолжает приветствовать формулу ближневосточного урегулирования «мир в обмен на землю». Но она вряд ли будет гарантом какого-либо соглашения, если не будут соблюдены определенные принципы.

Даже официально декларированная советская политика в деле ближневосточного урегулирования выглядела железобетонной, застывшей, малоподвижной, потому что она была принципиальной. Она не менялась даже от смены режима к режиму, от советского к постсоветскому периоду. Урегулирование в рамках резолюций СБ ООН № 242 (1967 г.) и № 338 (1973 г.), может быть даже оставленных за скобки ссылок на ООН, была и остается базой российской политики.

Объем суверенитета, границы будущего Палестинского государства, характер его руководства, особенности его нейтралитета, демилитаризации, его отношения с Иорданией и Израилем, сложнейший вопрос о статусе Иерусалима, о судьбе беженцев – все это могло бы быть предметом переговоров и компромиссов.

Но признание других основ урегулирования по израильской схеме означало бы двойную потерю для России. Во-первых, отход от принципов решительно подорвал бы кредит доверия к Москве в арабском и мусульманском мире. Во-вторых, беспринципное «урегулирование» означало бы диктат более сильной стороны – Израиля и его «стратегического союзника» США и бросило бы в землю семена более глубокого и более разрушительного конфликта в не столь отдаленном будущем.

Позиция автора по отношению к ближневосточному урегулированию сводится примерно к следующему. Конфликт в нынешнем виде будет продолжаться достаточно долго. Израиль будет продолжать отхватывать кусочек за кусочком палестинской территории, строить новые поселения, хотя проблема увеличения численности еврейского населения в самом Израиле стоит под вопросом. Здесь сейчас живет более трети всех евреев мира. Новой волны иммиграции в данных условиях ждать не приходится, хотя резкое и непредсказуемое изменение ситуации в мире может привести к росту желающих уехать «на историческую родину».

Если перейти с языка деклараций к альтернативам развития событий, можно предположить несколько вариантов.

Первый – это тот, о котором только что шла речь.

Второй вариант – «решение» по принципу этнической чистки палестинцев, т.е. изгнание максимального их числа за линии перемирия, которые контролирует Израиль. Это был бы шаг крайне правой части истеблишмента, бросающий вызов не только арабам и всем мусульманам, но и мировому сообществу. В каких-то чрезвычайных обстоятельствах, возможно, что это сошло бы с рук. Этот вариант экстремистский, он труден, потому что мир охвачен информационными технологиями и просто делать что-то, чтобы поставить человечество перед свершившимся фактом, опасно. Мало того. В истории часто действовал принцип бумеранга: зло, причиненное другим, возвращалось на его совершивших.

Третий вариант – чисто теоретический, наивный, идеальный и вряд ли осуществимый. Он заключается в создании единого арабо-еврейского государства с подлинным равноправием его граждан. Подразумевается как участие арабов наравне с евреями в политической, военной, деловой, образовательной и другой деятельности, так и в возможности приобрести землю и другую собственность. Такого рода государство, если бы оно было создано, стало бы экономическим, финансовым, инновационным, научно-техническим центром Ближнего Востока с положительным воздействием на ситуацию как в самом Израиле – Палестине, так и во всем регионе. Исчез бы прецедент антиизраильской риторики экстремистов. Открылись бы широчайшие возможности использования талантов и евреев, и палестинцев и процветания и тех и других.

Можно предполагать, что этот вариант отвергнет абсолютное большинство евреев и значительный процент арабов хотя бы потому, что взаимная ненависть и недоверие за годы, прошедшие после образования Израиля и арабо-израильских войн, – реальный фактор политики и психологии. Выросло поколение палестинцев, особенно молодежи, которые ненавидят не только Израиль, но и любого еврея. Они готовы, если в их руки не попадет автомат, заточить пластмассовую школьную линейку, превратить ее в примитивный нож, чтобы пырнуть любого еврея. А солдат-еврей считает себя вправе сначала стрелять в подозрительного араба, а потом думать.

Изменить эту психологию трудно. Как показала практика, также трудно добиться территориального отделения друг от друга. Отказ от израильской оккупации сектора Газа привел к созданию не какого-то процветающего Гонконга, а огромного вооруженного, озлобленного гетто, которое не собирается признавать необходимость сосуществования с Израилем, хотя фактически сосуществует.

Разговоры о создании Палестинского государства останутся частью политического дискурса, в т.ч. российского, но не более. Ведь главный вопрос, что понимать под термином «государство». Если «государство» – значит знамя, гимн, «мерседесы» для высших чиновников, почетный караул и т.д., то в этом смысле Палестинское «государство» может появиться.

Но фактически оно, как сейчас Палестинская автономия, будет играть роль муниципалитета, заниматься водой, канализацией, школами, больницами и т.д. А как насчет суверенитета и территории? Суверенитет под оккупацией невозможен, а населенные палестинцами территории представляют собой разрозненную сеть мини-бантустанов, которые в подлинное государство просто не могут превратиться без эвакуации значительной части еврейских поселений, что вообще не представляется реальным.

В этих условиях Россия будет поддерживать дружественные политические и торгово-экономические отношения с Израилем, изредка находить точки политического соприкосновения, делать совместные заявления по поводу борьбы с терроризмом и, может быть, даже обмениваться опытом в этой борьбе. Россия будет продолжать говорить о признании прав палестинцев, оказывать им кое-какую помощь, поддерживать связи с различными палестинскими фракциями. Что еще? Конечно, будут развиваться культурные и семейные связи, российский туризм в Израиль. Но реальный стратегический партнер, союзник и защитник Израйля – США, и ни на какую Россию этого друга Израиль не променяет. Да и России такой слишком близкий друг не нужен.

В новой России мессианские идеи были отброшены. Социально-политический эксперимент над населением России изменил весь мир, но обошелся слишком дорого самой стране и русскому народу. Оказалось, что Запад не хочет принимать в свою систему Россию ни по старым идеологическим соображениям, ни согласно новой геополитике: ему не нужна огромная, хорошо вооруженная и высоко развитая Россия, озабоченная своими национальными интересами.

Геостратегическое положение России уникально. В глобальном плане она – единственная страна Севера, граничащая на протяжении тысяч километров с новыми мусульманскими государствами или находящаяся от них сравнительно недалеко. Будет ли эта пограничная полоса зоной нарастающих и разрушительных конфликтов или Россия и соседние страны сохранят и разовьют новые формы сожительства и сосуществования? Это одно из принципиальных и в значительной степени успешных направлений политики России в «ближнем зарубежье».

Еще вчера страны евроатлантической цивилизации, благодаря своему уровню технологий и производительности труда, интеллектуальной деятельности, общественным и политическим структурам и ценностям, развитию новых средств коммуникаций, лидерству в использовании Интернета, считали свою модель мира самой совершенной. Сегодня прежние иллюзии умирают. Новая всемирная цивилизация должна быть основана на отношениях равных. И в этом новом мире равных каждая его составляющая будет вносить свой, особый вклад во всемирную цивилизацию не только технологическим прогрессом, но и обогащением всех трансформированными достижениями своих собственных цивилизаций.

Нынешнее стремление России повторить некоторые формы развития Запада очевидно. Но просто копирование невозможно и обречено на неудачу. Вся история гигантской России, ее особой структуры, психологии русских и других народов ее населяющих, система ценностей, которую они разделяют, говорит о том, что заимствуя от Запада, приближаясь к Западу, она остается сама собой. Подъем Востока и желание оставлять не только окно, но и дверь открытой для сотрудничества со странами Востока, позволяет России быть собой и одновременно впитывать достижения других народов.

В обновленной России могут выработаться элементы синтеза различных частей всемирной цивилизации. Россия нужна мусульманскому миру, как и мусульманский мир нужен России. России нужны и США, и Китай, и она нужна этим двум колоссам. Хотелось бы на ноте оптимизма завершить выступление. Но – увы! – слишком много тревожных признаков того, что ни России, ни ее соседям, ближним и дальним, ни ее партнерам, и более экономически развитым, чем она, и менее развитым, не избежать тяжелых испытаний.

Что касается региона Ближнего и Среднего Востока, то здесь, хотя произошло некоторое ослабление военной составляющей конфликтов в регионе, их причины загнаны внутрь и не ликвидированы. Рассчитывать на стабильность не приходится. Оптимистический взгляд на будущее неуместен. У России есть возможности положительного влияния на события, но есть и ограничения ее прагматичных шагов в этом направлении.



**ОТДЕЛЕНИЕ
МЕДИЦИНСКИХ
НАУК**



А.Д. Каприн¹

Национальный проект: «Борьба с онкологическими заболеваниями»

Введение

Несмотря на значительные успехи в исследованиях механизмов канцерогенеза, онкологические заболевания все еще остаются одной из основных причин смертности во всем мире. При этом наблюдается устойчивая тенденция роста заболеваемости, что объясняется рядом субъективных и объективных причин - старением населения, экологическими, экономическими и другими факторами. В 2017 г. в России впервые выявлено почти 541 тыс. онкобольных (более 617 тыс. новых опухолей), умерло от злокачественных новообразований 290,7 тыс. больных, что составляет 15,9% в общей структуре смертности (вторая причина после сердечно-сосудистых заболеваний). Меры по оказанию онкологической помощи, а также необходимость реорганизации онкологической службы РФ нашли свое отражение в послании Президента федеральному собранию 1 марта 2018 г. Основными пунктами послания являлись: доступность современной качественной медицинской помощи, развитие онкологической службы, увеличение общих объемов финансирования здравоохранения вдвое, повышение уровня подготовки специалистов медицинского профиля, реализация общенациональной программы по борьбе с онкологическими заболеваниями. Перечень поручений по реализации послания включает: увеличение народонаселения, повышение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет к 2024 году и до 80 лет к 2030 году, определение национальных целей, соответствующих целевых показателей и стратегических задач по здравоохранению, а также создание единой согласованной нормативно-правовой базы.

В июле 2018 года была одобрена программа борьбы с онкологическими заболеваниями, представленная Министерством здравоохранения Российской Федерации. Задачи и целевые показатели Федерального проекта «Борьба с онкологическими заболеваниями» представлены в табл. 1. Для достижения поставленных целей требуется консолидация усилий медицинского и научного сообществ. В данном обзоре представлены направления и примеры мультидисциплинарного подхода к решению задач современной онкологии.

Профилактика злокачественных новообразований, диспансеризация и скрининг

Ключевыми подходами раннего выявления злокачественных новообразований являются диспансеризация и скрининг. В результате диспансеризации 2017 г. впервые выявлено 29289 случаев злокачественных новообразований (7,8% от зарегистрированных в канцер-регистре). При этом удельный вес выявленных при диспансеризации в группе всех активно выявленных злокачественных новообразований – 30,1%. Структура и доля злокачественных новообразований, выявленных в ходе диспансеризации 2017 года, представлены на рис. 1.

Вклад диспансеризации в общую выявляемость опухолевых заболеваний может достигать 50%. Это хорошо видно на примере рака молочной железы (РМЖ). В России в рамках диспансеризации определенных групп взрослого населения маммографический скрининг с 2015 по 2017 гг. проводился женщинам в возрасте 39 – 72 года с периодичностью раз в 3 года (приказ Минздрава России от 03.02.2015 № 36ан). С 2018 г. возраст ограничен интервалом от 51 года до 69 лет с периодичностью

¹ Генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, академик РАН

раз в 2 года (приказ Минздрава России от 26.10.2017 № 869н). Количественные показатели маммографического скрининга 2015-2017 гг. представлены в табл. 2. Вклад диспансеризации в общую выявляемость РМЖ и выявление I-II стадии РМЖ представлен на рис. 2а и 2б соответственно.

Таблица 1

Задачи и целевые показатели Федерального проекта
«Борьба с онкологическими заболеваниями»

<p>Федеральный проекта «Борьба с онкологическими заболеваниями»</p> <p>Задачи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка и утверждение 85 региональных программ борьбы с онкологическими заболеваниями 2. Популяционная профилактика развития онкологических заболеваний; 3. Проведение информационно-коммуникационной кампании, направленной на раннее выявление онкологических заболеваний и повышение приверженности к лечению; 4. Финансовое обеспечение оказания медицинской помощи больным с онкологическими заболеваниями в соответствии с клиническими рекомендациями и протоколами лечения; 5. Организация сети центров амбулаторной онкологической помощи в 85 субъектах Российской Федерации; 6. Переоснащение сети региональных медицинских организаций, оказывающих помощь больным онкологическими заболеваниями (диспансеров/больниц) в 85 субъектах Российской Федерации; 7. Развитие сети федеральных медицинских организаций, оказывающих помощь больным онкологическими заболеваниями, в т.ч. создание федеральных центров протонной терапии; 8. Создание 18 (федеральных и межрегиональных) референс-центров иммуногистохимических, патоморфологических исследований и лучевых методов исследования; 9. Внедрение региональной централизованной системы «Организация оказания медицинской помощи больным онкологическими заболеваниями»; 10. Кадровое обеспечение онкологической службы; 11. Новое строительство и реконструкция. <p>Целевые показатели к 2024 году:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Снижение смертности от новообразований, в том числе от злокачественных (до 185 случаев на 100 тыс. населения); • Доля злокачественных новообразований, выявленных на ранних стадиях (I-II стадии), 63%; • Удельный вес больных со злокачественными новообразованиями, состоящих на учете 5 лет и более, 60%; • Показатель одногодичной летальности больных со злокачественными новообразованиями, 17,3%.
--

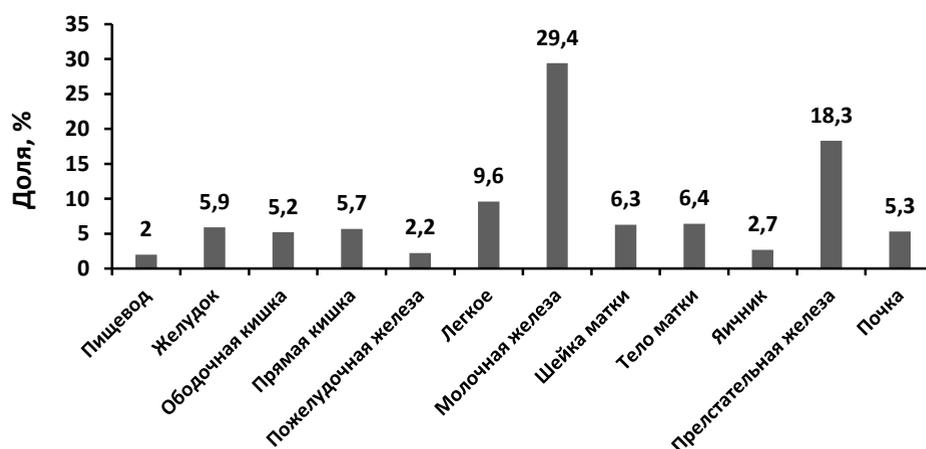


Рис. 1. Структура и доля ЗНО, выявленных в ходе диспансеризации 2017 года

Результаты маммографического скрининга 2015-2017 гг.

Год	Участвовало здоровых женщин в скрининге	Выявлено случаев РМЖ
2015	5 037 547	6 756
2016	5 834 426	7 386
2017	5 732 505	8 594

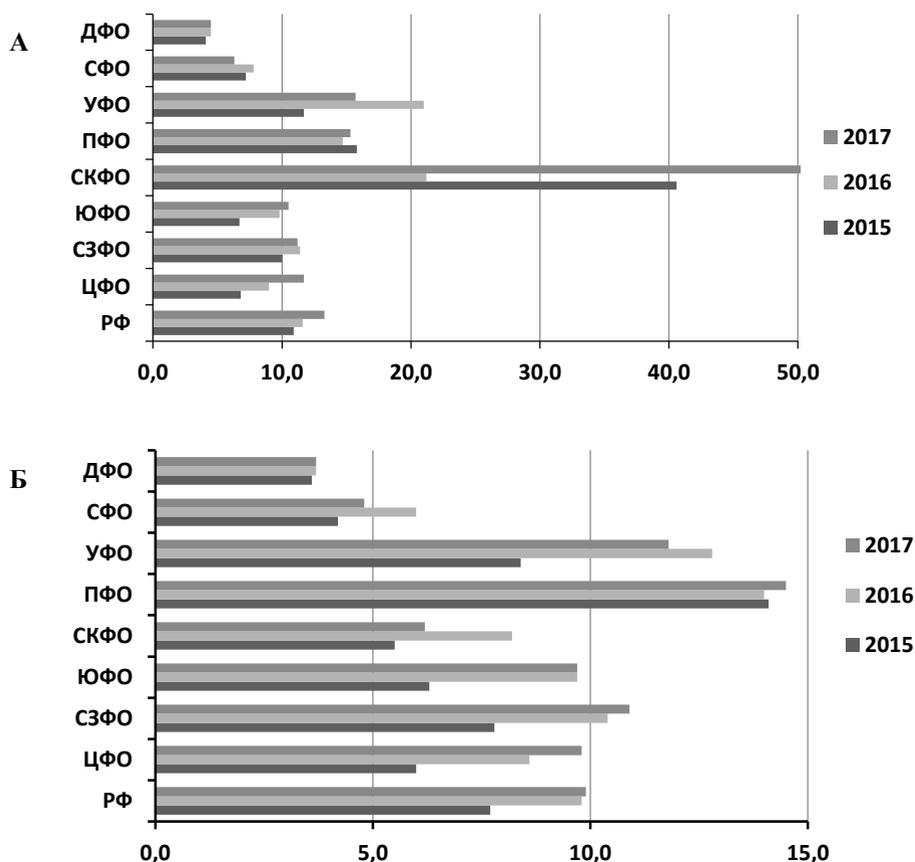


Рис. 2. Вклад диспансеризации в общую выявляемость РМЖ (А) и выявление I-II стадии РМЖ (Б)

Необходимо отметить роль математических методов анализа, медицинской кибернетики и биоинформатики в программах диспансеризации и скрининга. Например, метод «нейронных сетей» применяется для адаптивного анализа больших баз данных. Помимо этого, математические методы анализа используются для выявления скрытых закономерностей и тенденций развития заболеваний, прогнозирования структуры заболеваемости и разработки на основе логистической регрессии дифференцированных алгоритмов диспансеризации для территорий с учетом климата, образа жизни, особенностей питания.

Другим направлением борьбы со злокачественными новообразованиями является профилактика. Развитие данного направления включает в себя разработку научно обоснованных программ профилактики развития онкологических заболеваний (с участием фундаментальных и клинических институтов РАН, национальных исследовательских центров Минздрава), поиск новых генетических маркеров-предикторов развития злокачественных опухолей, разработку стратегии персонализированной профилактики, изучение и валидизацию роли и влияния на заболеваемость и смертность различных факторов риска, характеризацию физических, химических и биологических канцерогенов, а также разработку и изучение активности агентов для химиопрофилактики развития злокачественных новообразований.

Эффективная диагностика злокачественных новообразований

Проект развития комплексной диагностической службы в онкологии включает в себя организацию сети центров амбулаторной онкологической помощи (ЦАОП) в 85 регионах РФ. Данные центры будут созданы на базе многопрофильных больниц и будут оснащены полным спектром оборудования. В штате ЦАОП будут представлены специалисты различных специальностей для комплексной и быстрой диагностики онкозаболеваний, в т.ч. планируется организация службы психосоциальной поддержки, медицинской реабилитации и паллиативной помощи, диспансерного наблюдения, амбулаторной химиотерапии, мониторинга лечения.

Помимо этого, планируется создание 18 (федеральных и межрегиональных) референсных центров патоморфологических и иммуногистохимических методов исследования на базе национальных медицинских исследовательских центров и других ведущих организаций.

Развитие диагностической службы в онкологии предусматривает внедрение современных методов исследований. На прошедших в 2018 году конференциях ASCO и ESMO был обозначена смена парадигм в современной онкологии от классификации опухоли по происхождению к классификации по результатам молекулярного профилирования. Молекулярная диагностика применяется для определения риска развития злокачественного новообразования и возможности разработки стратегии профилактики рака, для раннего выявления опухолевого процесса и более специфичного и дифференцированного подхода к программам скрининга и ранней диагностики, а также для прогноза течения заболевания и оптимизации выбора лечебной стратегии, минимизации побочных эффектов. Появление таких инструментов как геномный и транскриптомный анализ позволило выявить новые диагностические, предиктивные и прогностические молекулярно-генетические маркеры. Их применение обеспечивает эффективное выявление на ранних стадиях целого ряда патологий, прогнозирование течения заболевания и оптимизацию выбора схемы лечения.

Одним из основных направлений современной молекулярной диагностики является «жидкостная биопсия», т.е. определение маркеров в биологических жидкостях. Такой метод является одним из наименее инвазивных, что позволяет диагностировать и следить за развитием заболевания с высокой периодичностью. Примером реализации такого подхода может служить диагностическая панель для малоинвазивной диагностики рака предстательной железы (РПЖ). Данная тест-система была разработана в МНИОИ им. П.А. Герцена на основе мультиплексного анализа профиля, циркулирующих в плазме крови микроРНК. Определение уровня 6 микроРНК в плазме крови позволяет с чувствительностью 83% и специфичностью 84% диагностировать РПЖ (рис. 3). Данные показатели более чем в 2 раза превосходят аналогичные характеристики «классического» анализа уровня ПСА.

Внедрение данной панели в клиническую практику позволит снизить частоту назначения трансректальных биопсий пациентам с низким риском развития РПЖ.

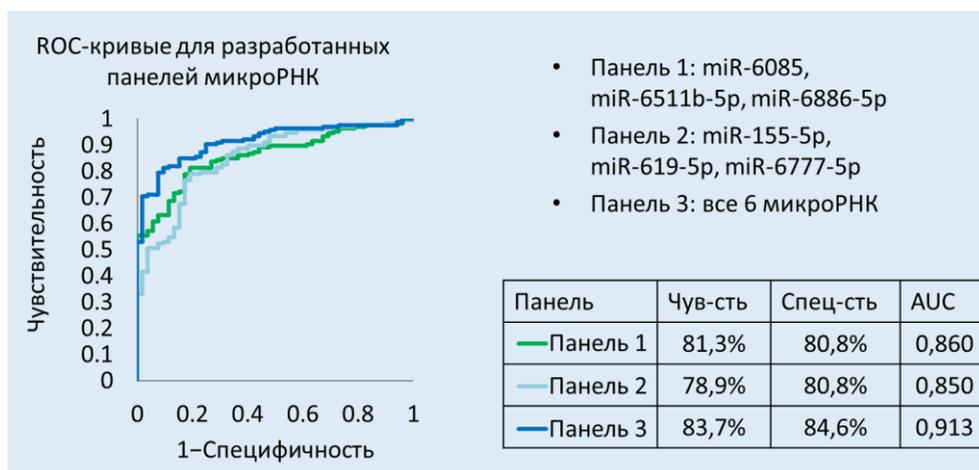


Рис. 3. ROC-кривые диагностической панели для малоинвазивной диагностики рака предстательной железы, разработанной в МНИОИ им. П.А. Герцена

Эффективное и безопасное лечение онкологических заболеваний

Для решения актуальных задач в онкологии необходимо применение высокотехнологических физико-химических технологий в комбинированном лечении (рис. 4). При этом период времен за который научные разработки входят в клиническую практику существенно сократился за последние два десятилетия. Это стало возможным благодаря мультидисциплинарным исследованиям научных и медицинских организаций. В сотрудничестве ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России с физическими и химическими институтами РАН были разработаны инновационные высокотехнологические методики, повышающие эффективность онкохирургии и регионарной химиотерапии.

В 2018 году был разработан новый инструментарий для гипертермической внутрибрюшной химиотерапии (НРЕС) и внутрибрюшной аэрозольной химиотерапии под давлением (РРАС).

В сотрудничестве с ИМЕТ РАН им. А. А. Байкова были получены биоматериалы для органотипического замещения костно-хрящевых дефектов. Данные конструкты могут быть использованы при замещении костных дефектов в зоне опухолевого поражения (рис. 5).

В настоящее время проводится разработка новых фотосенсибилизаторов для фотодинамической диагностики и терапии. Данный метод может применяться для лечения инфекционных заболеваний, опухолей паренхиматозных органов; метастазов в ЛУ, а также для фототераностики совместно с МРТ и радиоизотопной диагностики. Новые фотосенсибилизаторы могут представлять собой как индивидуальные соединения, например на основе бактериохлорина, так и конъюгаты с гадолинием, радиоактивными изотопами и векторными молекулами.

Персонализированный подход к лучевой и лекарственной терапии на основе молекулярной диагностики позволяет определить индивидуальный прогноз эффективности лечения (радиотерапии, лекарственной терапии) и подобрать препарата или методику терапии.



Рис. 4. Основные направления современной онкологии

На базе ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России было проведено исследование возможности повышения эффективности лучевой терапии путем прогнозирования индивидуальной радиочувствительности рака шейки матки. Папилломавирусная инфекция является известным этиологическим фактором рака шейки матки и обнаруживается практически у всех больных раком этой локализации. Однако генотип ВПЧ и количественные молекулярно-генетические показатели ВПЧ-инфекции могут сильно отличаться у разных больных. Как показывают результаты проведенного исследования, степень интеграции ДНК ВПЧ в клеточный геном является независимым фактором прогноза клинического исхода рака шейки матки и может служить одним из критериев выбора тактики лечения заболевания (рис. 6).

Помимо определения наиболее эффективной схемы лечения, существующие подходы позволяют оценить ее целесообразность. В частности, при раке молочной железы, в прошлом химиотерапия должна быть назначена всем женщинам с ранними стадиями РМЖ независимо от размера опухоли, статуса лимфатических узлов, менопаузы и наличия рецепторов эстрогена и прогестерона. В настоящее время персонализированная оценка риска рецидива на основе генетических и молекулярных показателей позволяет не использовать химиотерапию при низкой вероятности его развития. Таким образом удастся снизить количество побочных эффектов. Ряд таких тест-систем (OncotypeDX, MammaPrint, PAM50 и др.) уже прошел клиническую апробацию и широко используется в клинической практике. При построении данных тест-систем использовались данные об экспрессии генов с максимальной индивидуальной информативностью, но такие гены составляют 3-5% транскриптома. В 2014 году была в МНИОИ им. П.А. Герцена с помощью полногеномного экспрессионного профилирования мРНК при раке молочной железы, нами был выполнен многопараметрический анализ и создана тест-система, на основе набора из 128 генов со сравнительно низкой индивидуальной информативностью. Однако

совокупность таких генов обеспечивает достоверность классификации, не уступающую достоверности классификации набора, составленного из наиболее высоко информативных генов (рис. 7).

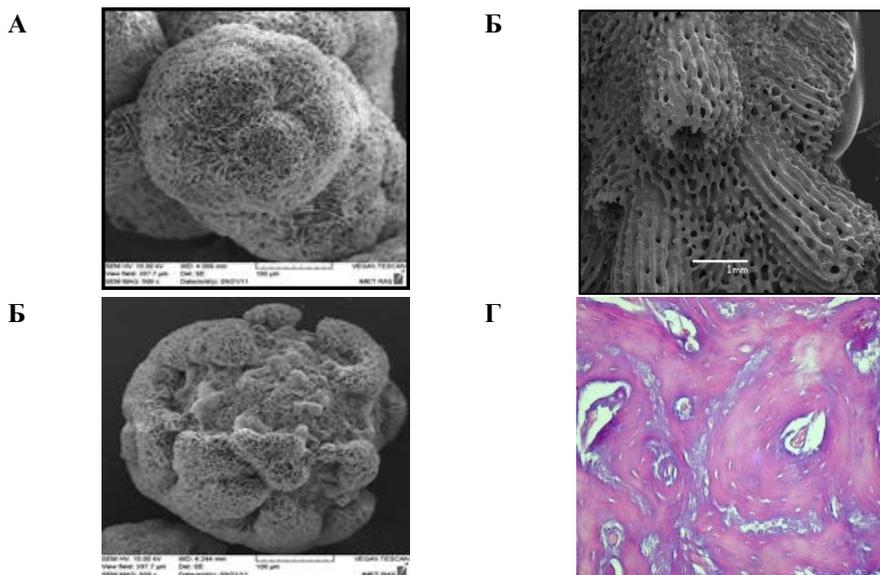


Рис. 5. Биоматериалы для органотипического замещения костно-хрящевых дефектов. Октокальций фосфат (А), скелет коралла (Б), композит коралл- октокальций фосфат (В), пример замещения дефекта бедренной кости коралловым имплантатом (размер дефекта больше критического) (Г)

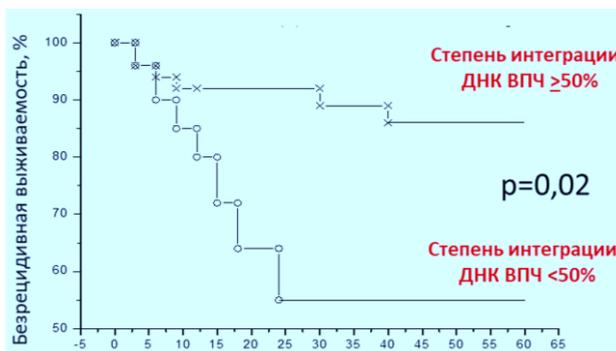


Рис. 6. Кривые выживаемости пациентов с раком шейки матки при различной степени интеграции ДНК ВПЧ

Несмотря на то, что молекулярная диагностика является одной из ключевых для определения схемы лечения, в ряде случаев даже выявление мишени для таргетного препарата не является достаточным для эффективной терапии. Например, с случае рака молочной железы, было показано, что начальная резистентность к анти-EGFR-препаратам может определяться наличием мутации в гене *KRAS*, однако мутация данного гена обнаруживалась только в 68% опухолей КРР, не ответивших на терапию.

Несмотря на отбор пациентов с учетом мутационного статуса *KRAS*, только около 40% пациентов отвечают на анти-EGFR-терапию. При этом оценка эффективности химиотерапии может проводиться только для ограниченного набора опухолевых заболеваний.

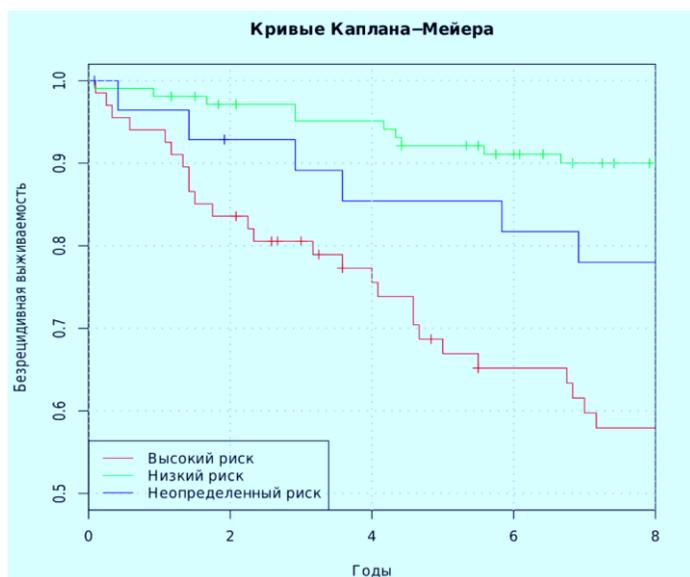


Рис. 7. Кривые выживаемости пациентов с раком молочной железы с разным индексом вероятности рецидива ОнкоПро-М1 на фоне гормональной терапии

Альтернативным подходом к выбору схем лечения является исследование чувствительности опухолевых клеток к лекарственным препаратам на *in vitro* и *in vivo* моделях. Выбор индивидуальной схемы лечения может быть основан на тестировании химиотерапевтических препаратов на органотипических моделях, полученных из опухолевых клеток пациента. При этом 3D культивирование представляется наиболее перспективным, так как позволяет приблизить условия культивирования к естественным, при этом без использования животных. Такие органоиды способны сохранять генетические и гистопатологические особенности исходной опухоли. Благодаря подбору специфичных условий культивирования для каждого подтипа опухолей, в некоторых случаях (например, для КРР) удаётся достичь роста органоидов из практически 100% опухолевых образцов. Тестирование панели химиотерапевтических препаратов позволяет выявить резистентность клеток пациента к некоторым из них и повысить эффективность назначаемой терапии.

Одним из ключевых ограничений широкого распространения технологии подбора терапии с использованием органоидов является широкая вариабельность первичных клеточных культур. В отличие от клеточных линий, скорость деления и оптимальные условия для роста таких клеток может существенно различаться, что приводит к большим трудозатратам и невозможности их прогнозирования. Для решения этой проблемы необходимо внедрение автоматизации в процесс получения первичных клеток пациента. Необходимый уровень автоматизации может быть достигнут при применении микрофлюидных систем (микробиореактора), обеспечивающих поддержание жизнеспособности клеток, их визуализацию в режиме реального времени и возможность удаленной работы. В ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава

России была разработана биотехнологическая платформа «Гомункулус», которая состоит из блока управления и микрофлюидного чипа в котором совместно культивируются клеточные модели органов и тканей человека (рис. 8). Данная платформа может использоваться для доклинических исследований лекарственных препаратов и персонализированного подбора химиотерапии.

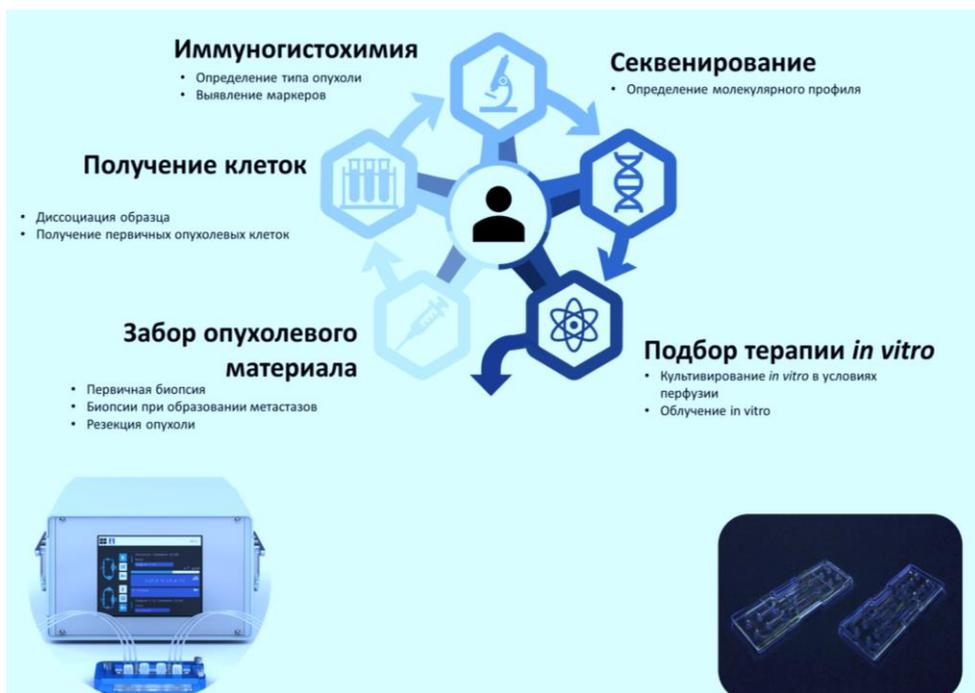


Рис. 8. Персонализированный подбор терапии с применением биотехнологической платформы «Гомункулус»

Ядерная медицина

Протонная терапия является наиболее динамично развивающимся методом радиационной онкологии. Эффективность лечения с применением протонной терапии составляет 98% для увеальной меланомы, 95% для локализованного рака предстательной железы и 80-90% для опухолей основания черепа (хордомы, хондросаркомы). В Российской Федерации исследовательские пучки расположены в Дубне (ОИЯИ), в Москве Москва (ИТЭФ) и в Санкт-Петербурге (ПИЯФ). В нашем центре есть вся линейка современных ускорителей, способных воздействовать на опухоль разными современными способами. В 2018 году был введен в эксплуатацию протонный центр на базе МРНЦ имени А.Ф. Цыба, который оснащен ускорителем «Прометеус», созданным исследователями из Физико-технического научного центра ФИАН им. П.Н. Лебедева в Протвино под руководством члена-корреспондента РАН В.Е. Балакина (рис. 9). Его изобретение значительно превышает характеристики известных зарубежных аналогов, и мы надеемся, найдет широкое применение в отечественной медицине. «Прометеус» выиграл ряд зарубежных тендеров на поставку ускорителей в США, Израиль и Китай, победив мировых лидеров в этой области. Также специализированные протонные центры расположены в Санкт-Петербурге (МИБС, «VARIAN») и в Дмитровграде (ФМБА, «ИВА»).

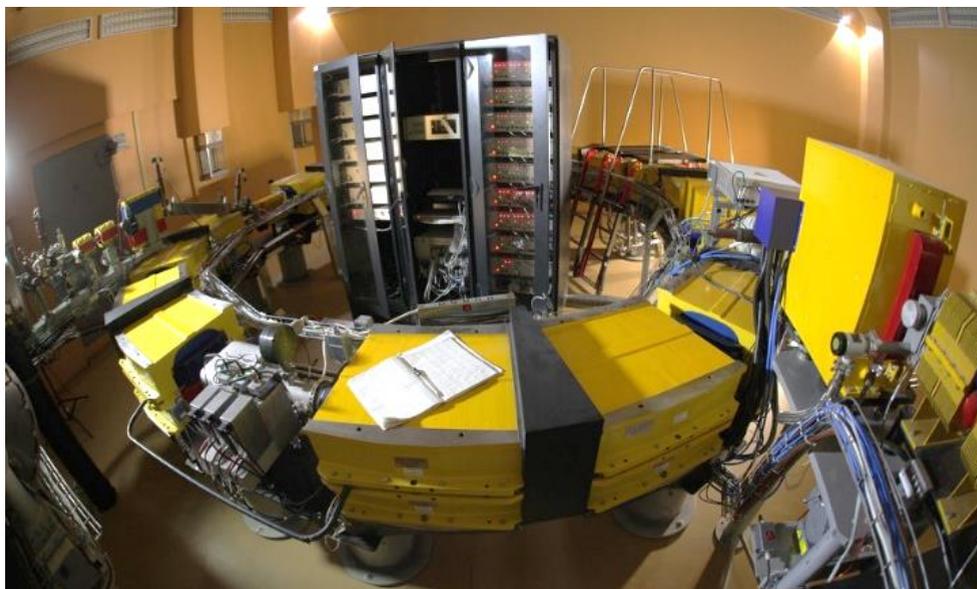


Рис. 9. Протонный терапевтический комплекс (г. Обнинск)

Радиоактивные фармацевтические препараты

На сегодняшний день на рынке Российской Федерации представлены радиофармпрепараты (РФП) на основе Tc-99m, I-131, Sr-89 и Sm-153. Наиболее перспективными разрабатываемыми таргетными изотопами являются Ra-223, Ac-225, Lu-177, Y-90, Ga-68 и F-18. Данные препараты найдут свое применение в лечении рака простаты, печени, молочной железы, поджелудочной железы, легких, крови, остеосаркомы и др. В ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России завершены разработки 4 РФП и 6 находятся в стадии разработки (табл. 3).

Государственный раковый регистр

В настоящий момент в Российской Федерации существуют два раковых регистра: Национальный радиационно-эпидемиологический регистр и Государственный раковый регистр. Национальный радиационно-эпидемиологический регистр создан в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 22.09.93 г. № 948 «О государственной регистрации лиц, пострадавших от радиационного воздействия и подвергшихся радиационному облучению в результате Чернобыльской и других радиационных катастроф и инцидентов» и признан одним из лучших регистров в мире. Государственный раковый регистр был создан приказом Минздрава России №420 «О создании Государственного ракового регистра» от 23 декабря 1996 года. Данные государственного ракового регистра в проекте ВОЗ и МАИР Globocan оцениваются как «национальные». Ключевым отличием данных регистров является учет пациентов: в Национальном радиационно-эпидемиологическом регистре ведется персонализированный учет каждого пациента, в то время как в Государственном раковом регистре персонализированный учет осуществляется на уровне муниципальных образований, на уровне экспертов федерального центра доступны только сводные обезличенные отчеты с ограниченным набором клинико-эпидемиологических данных.

Радиоактивные фармацевтические препараты,
разрабатываемые в ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России

РФП, разработанные в ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России				
№	Наименование РФП	Назначение РФП	Состояние разработки	В партнерстве
1	Фосфорен, рений-188	Лечение костных метастазов	Проведены доклинические и первая фаза клинических исследований	ФГУП «Федеральный центр по проектированию и развитию объектов ядерной медицины» ФМБА России
2	Микросферы альбумина, 20-40 мкм, рений-188	Лечение неоперабельных опухолей печени	Проведены доклинические исследования	ФГУП «Федеральный центр по проектированию и развитию объектов ядерной медицины» ФМБА России
3	Микросферы альбумина, 5-10 мкм, рений-188	Лечение суставных синовитов	Проведены доклинические исследования	ФГУП «Федеральный центр по проектированию и развитию объектов ядерной медицины» ФМБА России
4	Микросферы альбумина, 25-40 мкм, иттрий-90	Лечение неоперабельных опухолей печени	В 2019 г. заканчиваются доклинические исследования	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»
РФП, разрабатываемые в ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России				
№	Наименование РФП	Назначение РФП		
1	ПСМА, иттрий-90	Лечение опухолей и метастазов предстательной железы		
2	ПСМА, технеций-99m	Визуализация опухолей и метастазов предстательной железы		
3	ЭДТМФ, галлий-68	ПЭТ костных метастазов		
4	ЭДТМФ, лютеций-177	Лечение костных метастазов		
5	РФП на основе остеотропного препарата и альфа-эмитера ²¹³ Bi	Паллиативное лечения костных метастазов		
6	²¹³ Bi-ПСМА	Лечение опухолей и метастазов рака предстательной железы		

Наличие раковых регистров позволяет существенно повысить эффективность здравоохранения, а именно:

- **осуществлять системный мониторинг эффективности проводимых реформ** и возможности корректировок точечных мероприятий
- **применять регион-специфичный подход к алгоритмам ранней диагностики и профилактики** онкологических заболеваний (программа диспансеризации и скрининга)
- **проводить контроль обоснованности назначения и расхода** дорогостоящих лекарственных препаратов
- **планировать вооруженность онкологических центров** высокотехнологичным оборудованием в зависимости от структуры заболеваемости в регионе автоматизация маршрутизации пациентов

Для усовершенствования системы регистров в ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России были разработаны предложения по изменению законодательной базы:

- включить в ФЗ от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» статью о федеральном регистре лиц, больных онкологическими заболеваниями
- включить Государственный раковый регистр в «подсистему ЕГИСЗ по ведению специализированных регистров пациентов по отдельным нозологиям и категориям граждан, мониторинга организации оказания высокотехнологичной медицинской помощи и санаторно-курортного лечения»
- придать правовые полномочия по ведению федерального ракового регистра для осуществления функций администрирования, поддержки, методического руководства, координации, верификации и анализа данных об онкологических больных
- обеспечить интеграцию разработанного в МНИОИ им. П.А. Герцена сетевого информационно-аналитического программного комплекса ИАС «Канцер-регистр» с другими медицинскими информационными системами и федеральными регистрами в рамках ЕГИСЗ
- разработать автоматизированную систему комплексной оценки влияния факторов риска на онкозаболеваемость и онкосмертность населения России (возможно, с использованием методологических подходов по оценке и прогнозированию радиационных рисков и программной платформы, разработанных в РЭС-НР для ЕФБД НРЭР)

Роль РАН в реализации национального проекта «Борьба с онкологическими заболеваниями»

РАН вносит большой вклад в развитие онкологической службы в Российской Федерации. Взаимодействие между РАН и учреждениями онкологического профиля ведется на различных уровнях. Экспертный совет РАН проводит экспертное научное обеспечение деятельности научных организаций онко-радиологического профиля. Координационный совет по онкологии и профильные группы по направлениям осуществляют разработку, обеспечение и сопровождение проектов и программ междисциплинарного взаимодействия направлений в онкологии. Президиум РАН обеспечивает преемственность, координацию фундаментальных исследований, а также утверждение предложений по развитию онкологической службы.

Примерами такого рода взаимодействий могут служить совместные разработки ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России и институтам РАН, в частности: ИМЕТ РАН, ИМБ РАН, ИПЛИТ РАН, ИППИ РАН, ИПЭЭ РАН, ИОФ РАН, ИБГ РАН, ИБХ РАН и др. Направления совместных исследований включают в себя полный перечень научных специализаций: синтез новых лекарственных препаратов, создание тканеинженерных конструкторов, проведение доклинических исследований, разработка математических моделей, поиск опухолевых маркеров, биоинформативный анализ, разработка нового оборудования.

Заключение

Снижение смертности от онкологических заболеваний является в настоящее время одной из приоритетных задач в Российской Федерации. Для улучшения оказания специализированной помощи онкологическим больным необходимо провести совершенствование системы онкологической службы. Важными направлениями в борьбе с онкологическими заболеваниями являются профилактика, ранняя диагностика и персонализированный подход к лечению, применение высокотехнологичного лечения с использованием физико-химических методов, развитие ядерной медицины. Основой прогресса отечественной онкологии должны быть исследования, проводимые в тесной кооперации медиками и учеными РАН.

Д.Ю. Пушкарь¹, А.В. Говоров², К.Б. Колонтарев³
Робот-ассистированная хирургия

Робот-ассистированная хирургия – одно из важнейших достижений современной медицины. Робот-ассистированные операции, широко применяемые в урологии, гинекологии, общей и сердечно-сосудистой хирургии, рассматриваются многими специалистами в качестве нового «золотого стандарта» оперативного лечения различных заболеваний в развитых странах. По состоянию на 1 января 2018 г. в мире установлено более 4,2 тыс. систем для робот-ассистированной хирургии. В 2017 г. в мире выполнено около 750 тыс. вмешательств с применением роботов, что на 15% больше, чем в 2016 г., а общее число операций с роботической ассистенцией с 2000 г. превысило 4 млн.

В Российской Федерации установлено более 30 роботических систем «Да Винчи»: в Москве, Санкт-Петербурге, Краснодаре, Ханты-Мансийске, Екатеринбурге, Новосибирске, Тюмени, Ростове-на-Дону и Владивостоке. Отмечается устойчивая тенденция роста числа ежегодно выполняемых робот-ассистированных вмешательств: например, в 2016 г. проведена 1581 роботическая операция, а в 2017 г. – примерно 2400. 74% всех российских робот-ассистированных операций выполняется по поводу урологической патологии, 13% – по поводу хирургических и 10% – гинекологических заболеваний.

К преимуществам операций с использованием роботических технологий относятся малая инвазивность вмешательства, трёхмерная визуализация операционного поля, а также высокая точность движений инструментов, вследствие чего минимизируется интраоперационная кровопотеря. В числе несомненных преимуществ и короткая госпитализация, быстрое восстановление, непродолжительная социальная дезадаптация оперированных пациентов. К сожалению, высокая стоимость оборудования и его обслуживания ограничивает более широкое использование робот-ассистированных вмешательств в нашей стране.

Наиболее часто выполняемой урологической роботической операцией во всём мире является радикальная простатэктомия у больных раком предстательной железы. Следует отметить, что до настоящего времени не проводилось мультицентровых рандомизированных исследований, которые позволили бы сравнить результаты робот-ассистированных операций и радикальной позадилоной простатэктомии. В ряде наблюдательных и когортных исследований отмечены лучшие или сопоставимые онкологические результаты и функциональные исходы робот-ассистированной радикальной простатэктомии по сравнению с «открытой» радикальной позадилоной простатэктомией. Вместе с тем известно, что лучшие результаты лечения рака предстательной железы определяются в значительной степени опытом оперирующего врача и опытом клинического центра, где проводится лечение.

В обзоре [1] показано, что при робот-ассистированной радикальной простатэктомии по сравнению с лапароскопической операцией выше частота восстановления эректильной функции (RR 1.51), а также частота восстановления удержания мочи (RR 1.14). В одном из немногочисленных проспективных рандомизированных исследований [2] также продемонстрировано, что при 5-летнем наблюдении после РАРП по сравнению с лапароскопической РПЭ при сходных

¹ Заведующий кафедрой урологии МГМСУ им. А.И.Евдокимова, член-корреспондент РАН

² МГМСУ им. А.И.Евдокимова, кандидат медицинских наук

³ МГМСУ им. А.И.Евдокимова, доктор медицинских наук

онкологических результатах отмечается более высокая частота восстановления эректильной функции (OR 2.35) и удержания мочи (OR 2.47)

Лучшие функциональные и иные результаты робот-ассистированной радикальной простатэктомии обусловлены новым пониманием хирургической анатомии малого таза, изменением подхода к выделению и сохранению наружного сфинктера мочеиспускательного канала и сосудисто-нервных пучков, дополнительными возможностями обучения начинающих хирургов, а также усовершенствованием протоколов гистоморфологического исследования удалённой с принципиально иной прецизионностью предстательной железы. Кроме того, развитие систем роботического интраоперационного трёхмерного изображения показало, что в эпоху современных технологий основной для хирурга является именно визуализация, а не пальпация.

Очевидно, что сравнительно быстрое развитие и широкое внедрение в клиническую практику робот-ассистированной хирургии стало возможным с учётом изменившихся пожеланий пациентов и членов их семей. В свою очередь, наличие в руках врачей такого инструмента, как робот, стимулировало многих пациентов обратить более пристальное внимание на своё здоровье: в частности, известно, что многие мужчины впервые сдали анализ крови на простат-специфический антиген и пришли на приём к урологу, услышав о существовании хирургического робота [3].

К сожалению, ожидания многих пациентов, связанные с применением робот-ассистированных операций, завышены. Поиск достоверной информации о роботических операциях и центрах робот-ассистированной хирургии затруднён, а реклама как в российских, так и зарубежных СМИ зачастую содержит недостоверные сведения [4].

При оценке возможных путей дальнейшего совершенствования робот-ассистированных операций нам представляется довольно перспективной разработка роботов-конкурентов «Да Винчи» с меньшей стоимостью оборудования и созданием инструментов нового типа. Важным этапом совершенствования технологии может стать активно изучаемая однопортовая хирургия, предусматривающая введение всех инструментов и видеокамеры через единый специально разработанный порт.

К настоящему времени наибольший опыт проведения робот-ассистированных операций в России накоплен в клинике урологии Московского государственного медико-стоматологического университета (МГМСУ) им. А.И. Евдокимова Минздрава России на базе Городской клинической больницы им. С.И. Спасокукоцкого (ранее Городская клиническая больница № 50) Департамента здравоохранения г. Москвы [5–8]. С 2008 г. специалистами клиники выполнено более 1500 робот-ассистированных операций, выпущена первая в России монография по роботической хирургии. Ими подготовлено и выпущено в свет наибольшее количество публикаций по указанной тематике, в том числе утверждённые Департаментом здравоохранения Москвы методические рекомендации «Обучение робот-ассистированной хирургии», «Робот-ассистированная урогинекология и реконструктивная хирургия», «Робот-ассистированная хирургия верхних мочевых путей», «Робот-ассистированные хирургические системы», «Радикальная простатэктомия открытая и робот-ассистированная», «Робот-ассистированная радикальная цистэктомия». Защищены 2 диссертации на соискание учёной степени доктора медицинских наук по тематике, связанной с робот-ассистированными операциями [9, 10].

Так, в исследовании П.И. Раснера, выполненном на основании анализа результатов лечения 583 пациентов с раком предстательной железы, продемонстрировано, что использование робот-ассистированной техники приводит к снижению морбидности у больных, перенесших радикальную простатэктомию, что выражается в сокращении

сроков послеоперационного пребывания пациентов в стационаре, уменьшении выраженности болевых ощущений и обеспечении высокой вероятности «немедленного удержания мочи» после удаления уретрального катетера (в 1,7 раза чаще, чем после радикальной позадилоной простатэктомии – 33,2% против 19,6%; $p=0,002$). Восстановление эректильной функции через 1 год после нервосберегающей операции было зарегистрировано в 2 раза чаще у пациентов группы робот-ассистированной радикальной простатэктомии, чем в группе радикальной позадилоной простатэктомии – 77,1% и 34,4% соответственно ($p<0,0001$). Операция с применением хирургического робота оказалась ассоциирована с существенно более высоким уровнем общей удовлетворенности пациентов результатами операции, чем операция позадилоным доступом: результат лечения посчитали «прекрасным» 93,6% пациентов в группе роботической операции по сравнению с 83,1% группы открытого оперативного вмешательства ($p<0,05$).

Кроме того, автором была изучена кривая обучения робот-ассистированной радикальной простатэктомии, составившая 40 операций: показано, что к этому времени происходит сокращение и стабилизация длительности операции до 200 минут и объёма кровопотери в среднем до 194 мл. Впервые относительно робот-ассистированной радикальной простатэктомии введено понятие «кривой обучения клиники» и термин «технический дефект».

В научной работе К.Б.Колонтарева впервые проведён анализ развития и функционирования собственной российской «роботической программы», а также наиболее успешной роботической программы США (Florida Hospital) с последующим обобщением данных и формированием пошагового алгоритма действий для создания роботической программы в России. Благодаря проведённому анализу были выделены приоритетные факторы успеха создания роботической программы, создан алгоритм и этапы формирования «роботической программы», а также обоснована её целесообразность и целостность. Показано, что приоритетными факторами успеха роботической программы являются адекватное финансирование первые 5-7 лет; формирование потока пациентов и формирование роботической команды.

Автором создан пошаговый алгоритм обучения робот-ассистированной простатэктомии, выполнения робот-ассистированной радикальной простатэктомии у различных групп больных с раком предстательной железы, а также представлен алгоритм интраоперационных действий, направленных на улучшение функциональных результатов робот-ассистированной операции.

Также автором обоснована целесообразность создания отечественного ассистирующего мехатронного хирургического комплекса для выполнения операций в урологии, что позволило продолжить работу в рамках государственного заказа № 13411.0008799.13.109 «Разработка технологии и организация производства ассистирующего мехатронного хирургического комплекса для выполнения операций в урологии» от 26 июня 2013 года.

В 2014 г. на базе клиники урологии МГМСУ создан Центр оперативной робот-ассистированной и реконструктивной урологии, разработана программа обучения роботических хирургов. На протяжении нескольких лет клиника сотрудничает с секцией Европейской ассоциации урологов по робот-ассистированной хирургии в области разработки Европейской программы обучения роботической простатэктомии, а также принимает участие в проекте «24 часа робот-ассистированных операций в прямом эфире» (единственная клиника из Восточной Европы).

Совместно с междисциплинарной группой учёных Института конструкторско-технологической информатики РАН (директор – доктор технических наук С.А. Шептунов) сотрудниками клиники разработан отечественный робот-ассистирующий

комплекс, продемонстрированный в Международном информационном агентстве «Россия сегодня» в апреле 2017 г. В ноябре 2017 г. завершена разработка манипулятора, контроллера хирурга, системы управления и экспериментального образца хирургического комплекса в целом. В марте 2018 г. в Пензе впервые выполнена операция на живом животном (рис. 1). Робот-ассистирующий комплекс создан в России из российских комплектующих, что позволяет не зависеть от мировой экономической ситуации и поддерживать стоимость на адекватном уровне (рис. 2, 3).



Рис. 1. Демонстрация работы российского робот-ассистирующего хирургического комплекса, г. Пенза, март 2018 г.



Рис. 2. Один из ведущих специалистов в мире по робот-ассистированной хирургии профессор В. Патель проводит манипуляции с помощью российского робота на модели пациента



Рис. 3. Демонстрация российского робота премьер-министру Японии Синдзо Абэ и генеральному директору Российского фонда прямых инвестиций К.А. Дмитриеву на Петербургском международном экономическом форуме в мае 2018 г.

Помимо вышеперечисленных качеств, комплекс высокоточен и позволяет при наличии соответствующей оптики проводить вмешательства с разрешением вплоть до клеточного. Такие характеристики недоступны ни одному зарубежному разработчику, что позволяет заявить о переходе на новый уровень робот-ассистированной хирургии и активно конкурировать на мировом рынке роботохирургического оборудования и услуг, который растёт до 20% ежегодно и, по прогнозам, к 2024 г. составит 20 млрд долл. США.

Заключение.

Развитие медицинских технологий привело к широкому внедрению в клиническую практику робот-ассистированной хирургии. Число минимально инвазивных операций при помощи робота «Да Винчи» неуклонно растёт по всему миру, чему в значительной степени способствует изменение характеристик и запросов современных пациентов, в частности, больных раком предстательной железы, а также иная оценка качества жизни больных после робот-ассистированных вмешательств.

Преимущества и ограничения робот-ассистированных операций изучены достаточно хорошо (по состоянию на 14.12.2018 в поисковой системе Pubmed имеется более 16 тыс. публикаций о робот-ассистированной хирургии). Очевидна необходимость совершенствования существующих роботических систем и инструментов, над чем активно работают научные коллективы по всему миру, в том числе и в России. Отечественный робот-ассистирующий комплекс имеет ряд описанных выше уникальных характеристик, превосходящих характеристики существующих или разрабатываемых западными фирмами систем, что в перспективе может позволить российским учёным и клиницистам перейти на новый уровень проведения робот-ассистированных хирургических операций.

Литература

1. *Allan C., Ilic D.* Laparoscopic versus robotic-assisted radical prostatectomy for the treatment of localised prostate cancer: a systematic review // *Urol. Int.* 2016. V. 96. № 4. P. 373-378.
2. *Porpiglia F., Fiori C., Bertolo R. et al.* Five-year outcomes for a prospective randomised controlled trial comparing laparoscopic and robot-assisted radical prostatectomy // *Eur. Urol. Focus.* 2018. V. 4. № 1. P. 80-86.
3. *Rassweiler J.J., Autorino R., Klein J. et al.* Future of robotic surgery in urology // *BJU Int.* 2017. V. 120. № 6. P. 822-841.
4. *Matsushita K., Endo F., Shimbo M., Hattori K.* Web promotion of da Vinci robotic prostatectomy exhibits varying sexual health information // *European Urology Supplements.* 2017. V. 16. № 3. e1444.
5. *Говоров А.В., Васильев А.О., Прилепская Е.А и др.* Сальважная робот-ассистированная радикальная простатэктомия после брахитерапии: наш опыт // *Онкоурология.* 2014. № 3. С. 64-68.
6. *Пушкарь Д.Ю., Дьяков В.В., Васильев А.О., Котенко Д.В.* Сравнение функциональных результатов после радикальной позадилоной и робот-ассистированной простатэктомии, выполненных по нервосберегающей методике хирургами с опытом более 1000 операций // *Урология.* 2017. № 1. С. 50-53.
7. *Васильев А.О., Ширяев А.А., Говоров А.В. и др.* Кишечная непроходимость в раннем послеоперационном периоде после робот-ассистированной радикальной простатэктомии // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2018. № 4. С 90-93.
8. *Прилепская Е.А., Мальцев Е.Г., Колонтарев К.Б. и др.* Сравнительный анализ функциональных и онкологических результатов радикальной простатэктомии – позадилоной, лапароскопической и робот-ассистированной // *Онкоурология.* 2015. № 4 (11). С 54-58.
9. *Раснер П.И.* Выбор метода оперативного лечения локализованного рака предстательной железы // Дисс. ... доктора мед. наук. Москва, 2016.
10. *Колонтарев К.Б.* Робот-ассистированная радикальная простатэктомия // Дисс. ... доктора мед. наук. Москва, 2015.

С.А. Бойцов¹

Что эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и практическая кардиология ждут от фундаментальной науки

Известно, что четыре группы заболеваний – сердечно-сосудистые, онкологические, бронхолегочные и сахарный диабет, которые принято объединять термином «неинфекционные заболевания» приобрели к середине XX века глобальное распространение и являются причиной более 70% смертей в мировом масштабе, при этом главенствующая роль в структуре смертности принадлежит сердечно-сосудистым заболеваниям (ССЗ). Имея многофакторное происхождение, ССЗ атеросклеротического генеза развиваются медленно, долгое время никак не проявляясь. Сердечно-сосудистый континуум представляет собой постепенно трансформируемый процесс, который начинается от момента провоцирования, формирования факторов риска развития ССЗ до развертывания самого заболевания, появления осложнений и летальных исходов.

Значительный прогресс в понимании современных подходов к контролю ССЗ связан с эпидемиологическими многолетними проспективными исследованиями, доказавшими роль факторов риска в развитии ССЗ и их осложнений. Среди них ведущее значение имеют поведенческие факторы - курение, избыточное потребление алкоголя, а также нездоровое питание и низкая физическая активность. Последние два фактора способствуют развитию ожирения, особенно висцерального, инсулинорезистентности, дислипидемии, артериальной гипертензии и сахарного диабета. Перечисленные факторы риска по отдельности и особенно при их сочетании приводят к формированию атеросклеротических бляшек в различных сосудистых бассейнах, нестабильность которых приводит к атеротромбозу и развитию осложнений, таких как острый инфаркт миокарда, острое нарушение мозгового кровообращения, хроническая сердечная недостаточность, внезапная коронарная смерть.

Опыт многих стран показал, что решение проблемы ССЗ возможно лишь при сочетании профилактических и лечебных технологий, в том числе первичной профилактики ССЗ, направленной на контроль факторов риска на уровне всей популяции и выявление в ходе профилактических обследований лиц, имеющих высокую вероятность сердечно-сосудистых осложнений с последующим проведением у них мероприятий по коррекции факторов риска. Вторым важнейшим компонентом является лечение неотложных состояний (прежде всего, инфаркта миокарда, мозговых инсультов) и вторичная профилактика ССЗ.

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в сфере профилактики и лечения ССЗ, в практической кардиологии накопились вопросы, требующие решения. К их числу относятся повышение эффективности стратификации сердечно-сосудистого риска, феномен «необъясненной наследственности», предупреждение и борьба с висцеральным ожирением, профилактика преждевременной коронарной смерти молодых мужчин, профилактика и лечение сердечной недостаточности с сохраненной и низкой фракцией выброса, снижение резидуального (остаточного) сердечно-сосудистого риска, повышения приверженности к лекарственной терапии ССЗ в режиме вторичной профилактики в том числе за счет разработки длительно действующих лекарственных препаратов.

¹ Генеральный директор ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России, член-корреспондент РАН

Повышение эффективности стратификации сердечно-сосудистого риска

В рамках первичной профилактики ССЗ с целью оценки риска в клинической практике широко используются различные системы его стратификации, в частности такие как шкала SCORE для европейских стран и Фрэмлингемская шкала FRS для американской популяции. Исследования свидетельствуют, что используемые сегодня системы стратификации риска имеют достаточную предсказательную способность для лиц с высоким риском и недостаточно эффективны у лиц с низким и умеренным риском. Известно, что, шкала SCORE недооценивают величину риска у 25-40%, а шкала FRS – у 31-48% пациентов.

Повысить предсказательную способность калькуляторов риска можно за счет учета дополнительных факторов риска. Если шкала SCORE учитывает всего 5 факторов – пол, возраст, статус курения, уровень систолического артериального давления и уровень общего холестерина, то шкала QRISK, значимо повышающая точность расчета, помимо всех перечисленных, учитывает также этническую принадлежность, индекс массы тела, уровень холестерина липопротеинов высокой плотности, наличие сахарного диабета, стенокардии, фибрилляции предсердий, хронической болезни почек, ревматоидного артрита, перенесенного острого коронарного синдрома, факт лечения артериальной гипертонии, и даже почтовый индекс, как индикатор социально-экономического статуса обследуемого [1]. Совершенно очевидно, что большое число учитываемых факторов затрудняет использование данного калькулятора риска, как в эпидемиологических исследованиях, так и в рутинной клинической практике.

Другой путь повышения предсказательной способности систем стратификации риска – это использование разнородных переменных – биохимических маркеров атеросклероза, в том числе показателей активности воспаления и неинвазивных показателей состояния сосудистой стенки. В частности, разработанный нами интегрированный отечественный биомаркер коронарного атеросклероза iBIO, учитывающий фактор пола, уровень триглицеридов, глюкозы, фибриногена, высокочувствительного С-реактивного белка и адипонектина, а также толщину интимы-медиа и наличие атеросклеротических бляшек сонных артерий, указывает на наличие коронарного атеросклероза с чувствительностью 88% и специфичностью 50% при интегральном показателе > 4 баллов и с чувствительностью 44% и специфичностью 80% при показателе > 9 баллов [2].

По-прежнему привлекательным является поиск уникальных биохимических маркеров индивидуального сердечно-сосудистого риска. На материале исследований FINRISK (n=7256), британских исследований SABRE (n=2622) и BWHHS (n=2622) с помощью метода ядерно-магнитного резонанса был произведен анализ предсказательной способности сердечно-сосудистых осложнений 68 метаболитов и липидов. После стандартизации по возрасту, полу, уровню артериального давления, курению, сахарному диабету, приему медикаментов и уровню липидов оказались, что с сердечно-сосудистыми осложнениями ассоциированы только 4 метаболита: фенилаланин (относительный риск (ОР)=1,18), мононенасыщенные жирные кислоты (ОР=1,17), омега-6 жирные кислоты (ОР=0,89) и докозагексаеновая кислота (ОР=0,90). Предсказательная способность системы стратификации FINRISK после включения этих 4 параметров увеличилась только на 27% [3].

Феномен «необъясненной наследственности»

Хорошо известно, что в развитии различных ССЗ большую роль играет фактор наследственности, то есть способности организмов передавать свои признаки и особенности развития потомству. Согласно Европейским рекомендациям по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике,

определение семейного анамнеза ранних ССЗ у родственников первой линии (мужчин до 55 лет или женщин до 65 лет), а именно сведения о фатальных/нефатальных сердечно-сосудистых событиях и/или об установленном диагнозе ССЗ, рекомендовано как часть общей оценки сердечно-сосудистого риска и отнесено согласно Европейским рекомендациям по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний к классу рекомендаций IA. Хотя оценка риска по семейному анамнезу не отличается большой точностью, она проста и учитывает не только генетическую составляющую, но и влияние на членов одной семьи общих факторов среды. Последнее особенно важно, поскольку большинство распространенных ССЗ не наследуется по менделевскому типу, присущему моногенным заболеваниям, а относится к многофакторным (мультифакториальным, комплексным) заболеваниям и обусловлено взаимодействием генетической компоненты, определяющей вкладом полиморфных вариантов ряда генов, и других факторов риска, которые тоже в свою очередь могут зависеть от генетических факторов.

Очевидно, что предметом наследования являются не только сами заболевания, но и их факторы риска. Так, в работе Dai X et al. показано, что такие факторы риска развития коронарного атеросклероза, ИБС и ИМ, как артериальная гипертония, сахарный диабет, дислипидемия, ожирение, уровень С-реактивного белка, гипергомоцистеинемия, наследуются с вероятностью от 50 до 80% [4].

В то же время, несмотря на огромный прогресс в исследовании генетической предрасположенности к различным заболеваниям, обусловленный использованием таких мощных современных методических подходов как широкогеномные ассоциативные исследования (genome-wide association studies, GWAS), обнаруженные по сей день вариации генома не могут полностью объяснить происхождение наследственной компоненты многих признаков. В связи с этим в литературе появился термин «missing heritability» [5], что дословно обозначает «потерянная наследуемость» или, как нам кажется, точнее «необъясненная наследственность». По сути дела это обозначает несоответствие на данном этапе исследований между выявляемой по семейному анамнезу наследственностью заболеваний и вкладом установленных генетических факторов их риска.

Уже накоплен большой объем данных об ассоциации различных локусов генома с ССЗ, и на их основе разработано немало диагностических тестов, но с весьма низкой предсказательной способностью. На сегодняшний момент согласно Европейским рекомендациям по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике ДНК- тесты для оценки риска ССЗ отнесены лишь к классу рекомендаций III, т.е. не рекомендованы. Таким образом, хотя значение генетической составляющей для развития ССЗ не вызывает сомнений, решение проблемы «необъясненной наследственности» ждет своего часа.

К настоящему времени предложен ряд гипотез для объяснения феномена «необъясненной наследственности». Среди них теории редких мутаций и большого суммарного эффекта малых величин, а также теория вовлечения эпигенетических механизмов и роли нелинейных (эпистатических) взаимодействий компонентов генома, при наличии которых полиморфизмы в одних генах влияют на проявление полиморфизмов в других генах при формировании риска.

В отличие от концепции «распространенное заболевание – распространенный вариант» (common disease - common variant), на которой базируются все широкогеномные исследования и которая предполагает, что генетической основой заболеваний является большое число достаточно распространенных аллелей, каждый из которых обладает слабым эффектом, теория редких мутаций (common disease - rare variant) предполагает, что основной вклад в наследственность распространенных

заболеваний вносят именно редкие варианты с частотой минорного аллеля менее 0,5% [6]. Ассоциацию таких вариантов с заболеванием не удастся обнаружить в широкогеномных исследованиях из-за их низкой частоты в популяциях. Однако, обладая сильными эффектами, редкие варианты могут реализоваться в виде сходных сложных фенотипов и вносить существенный вклад в формирование заболеваний с менделевским типом наследования. Очевидно, что в популяциях, несущих груз неблагоприятных редких генетических вариантов, будут чаще встречаться сложные патологические фенотипы. Так, нами показано, что в российской популяции у больных семейной гиперхолестеринемией, которая, как известно, обусловлена редкими мутациями с аутосомно-доминантным типом наследования, распространенность определенной семейной гиперхолестеринемии составила 1:407, вероятной – 1:148 и определенной или вероятной в совокупности - 1:108. При этом существенно повышается риск ишемической болезни сердца (ОШ равно 3.7) [7].

Теория большого суммарного эффекта малых величин, в отличие от теории редких мутаций, предполагает, что распространенные заболевания развиваются не в результате больших эффектов малого числа генов, а напротив, малых эффектов большого числа генов, которые остаются не детектированными в современных широкогеномных исследованиях. Если шкала генетического риска, построенная на основе оценки полиморфизма 53 однонуклеотидных вариантов генома, уточняет риск развития ССЗ не более чем на 4%, то эта шкала на основе более 6 млн. однонуклеотидных полиморфизмов позволяет определить у 2.5% людей повышенный в 4 раза риск развития ССЗ, что сопоставимо с моногенным характером наследования [8].

Как уже было сказано, свой вклад в проблему «необъясненной наследственности», наряду с генетическими факторами, могут вносить эпигенетические модификации, не затрагивающие последовательности ДНК, но влияющие на экспрессию генов в различных клетках или тканях. Это положение было образно сформулировано П. Медаваром еще в 1988 г. следующим образом: «Генетика полагает, эпигенетика располагает». При этом принципиальное значение имеет то обстоятельство, что влияние внешних факторов может быть в значительной мере опосредовано эпигенетическими механизмами. Одним из наиболее важных эпигенетических механизмов является метилирование ДНК в позиции С5 цитозинового основания в составе CpG-динуклеотидов, и если оно происходит в области промотора гена, то это приводит к подавлению его экспрессии.

Поскольку ожирение является значимым фактором риска развития ССЗ, нами в рамках проспективного когортного исследования изучалось изменение профиля метилирования генов, ассоциированных с ожирением и при диетологической коррекции, направленной на снижение массы тела. При анализе 19 генов различия в уровне метилирования которых ассоциированы по данным эпигеномных ассоциативных исследований (epigenome-wide association studies, EWAS) с ожирением, было показано, что диета в течение 1 года, направленная на снижение массы тела, значимо изменяет уровень метилирования 17 локусов в 10 генах [9].

Частично проблему «необъясненной наследственности» решает анализ совместного вклада множества аллелей и генотипов риска в развитии ССЗ, между которыми могут возникать взаимодействия по модели эпистаза. Такой эффект наблюдается в случаях, когда, например, носительство двух отдельных генетических вариантов поодиночке не приводит к модификации риска, а при носительстве обоих неблагоприятных вариантов способствует его изменению.

Поиск подобных взаимодействий опирается на использование разнообразного арсенала методов биоинформатики, среди которых можно отметить генетическое программирование, нейронные сети, методы, основанные на уменьшении

размерности, методы Монте-Карло на основе марковских цепей и логическая регрессия. Биоинформатика в настоящее время является эффективным инструментом для предсказания потенциальных механизмов генных взаимодействий в контексте биологических сетей, регулируемых различными молекулами, в том числе микроРНК.

Профилактика и борьба с висцеральным ожирением

Ожирение представляет собой ведущий фактор риска развития диабета 2 типа, дислипидемии, атеросклероза и артериальной гипертензии. При этом, основной негативный вклад вносит не повышенное потребление жиров, а потребление быстрых углеводов, то есть постоянный положительный энергетический баланс, что не соответствует балансу, запрограммированному геномом человека. При наиболее частой и неблагоприятной висцеральной форме ожирения происходит накопление белого жира, в том числе путем трансдифференцировки подкожной существенно менее значимой в клиническом плане бурой жировой ткани в белый жир, что видно из экспериментов с животными, лишенными гена лептина (db/db). Таким образом, обратное репрограммирование белой жировой ткани в бурую и бежевую, которые способны утилизировать энергию без ее запасаения, может быть перспективным подходом к коррекции метаболического статуса и профилактике сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с висцеральным ожирением. Классическими активаторами перехода белого жира в бурый являются холодовая экспозиция, голод и адренергическая стимуляция, однако существуют и фармакологические подходы. Из-за повышения сердечно-сосудистых рисков, использование целого ряда препаратов, таких как ингибиторы обратного захвата серотонина или стимуляторы секреции норадреналина, было приостановлено. Однако в настоящее время уже существуют другие фармакологические пути решения данной задачи, а именно использование гипогликемических препаратов - агонистов рецепторов ГПП-1. Агонисты рецептора ГПП-1 стимулирует секрецию инсулина, снижение синтеза глюкагона и опорожнение желудка, а также действует центральным путем, снижая аппетит и активируя образование бурого жира. Пока существует единственный сахароснижающий препарат (лираглутид), который показан для лечения ожирения, в том числе у лиц без сахарного диабета [10]. В жировой ткани он активирует сиртуин-1 – еще один перспективный регулятор образования бурого жира. Наконец, появляются данные о других возможностях, включая воздействие миокинов (например, ирисина), использование генно-терапевтических технологий - от плазмидных конструкций гена ГПП-1 до транскрипционной регуляции образования бурого жира с использованием CRISPR-технологий редактирования генома.

Профилактика преждевременной коронарной смерти у молодых мужчин

Дислипидемия, в том числе ассоциированная с ожирением, является ведущим фактором риска развития и прогрессирования атеросклероза и образования атеросклеротических бляшек (АСБ). Развитие АСБ в коронарных артериях - основная причина инфаркта миокарда (ИМ) и ранней смертности, особенно у мужчин. Особый риск связан с нестабильностью АСБ, в том числе небольших размеров. Около 70% пациентов младше 50 лет, впервые перенесших ИМ, ранее не имели клинических признаков ишемической болезни сердца (ИБС), что косвенно свидетельствует о развитии ИМ не вследствие постепенного стенозирования артерии, а в результате разрыва нестабильной небольшой бляшки и последующего атеротромбоза. Также известно, что 75% ИМ возникают из-за разрывов малых нестабильных АСБ, перекрывающий просвет сосуда не более чем на 50%, но имеющих высокий риск тромбоза. Отличительными признаками таких бляшек является наличие тонкой

фиброзной капсулы, инфильтрированной макрофагами и лимфоцитами, большого некротического атероматозного ядра, ремоделирования стенки сосуда и интенсивной неоваскуляризации. Основными факторами, определяющими нестабильность бляшки, являются воспалительные реакции, эндотелиальная дисфункция (в том числе вызванная курением) и повышенная активность внеклеточных протеиназ (урокиназный активатор плазминогена, плазмин и матриксные металлопротеиназы (ММП)). Стандартная терапия больных с атеросклерозом статинами и ингибиторами АПФ способствует стабилизации АСБ [11].

Однако, применение всех указанных препаратов не позволяет достичь полной стабилизации бляшек, поэтому сохраняется весьма высокий остаточный риск. Для устранения этого риска разрабатывается несколько подходов, одним из которых является борьба с воспалением. В этих целях используется большое количество различных веществ, находящихся на разных этапах изучения. Показано, что колхицин приводит к уменьшению нестабильности бляшек, оцениваемой при помощи КТ-ангиографии. В настоящее время проходят исследования его эффективности у пациентов с ИБС. Метотрексат может положительно влиять на сердечно-сосудистый риск, однако прямых доказательств его стабилизирующего влияния на бляшку не получено [12]. Препарат для лечения сахарного диабета 2 типа из группы тиазолидиндионов, пиоглитазон в исследовании PROactive снижал частоту вторичной конечной точки, включающей в себя смерть от всех причин, нефатальный инфаркт миокарда и инсульт у пациентов с сахарным диабетом 2 типа и высоким риском макрососудистых событий [13]. Недавно показано, что терапия противовоспалительным препаратом канакинумабом (антитела против интерлейкина-1 бета), привела к существенному снижению частоты повторных сердечно-сосудистых событий [14].

В НМИЦ кардиологии Минздрава России на основе пептидного фрагмента (65-76) хемокина MCP-1 по инициативе и под руководством академика РАН Е.И.Чазова был разработан препарат «инграмон», обладающий противовоспалительным действием, что было продемонстрировано у пациентов с коронарным атеросклерозом, подвергшихся стентированию коронарных артерий. При добавлении к стандартной терапии «инграмон» существенно снижал вероятность осложнений после эндоваскулярных вмешательств [15].

Другим подходом к уменьшению остаточного риска является подавление активности ММП, являющихся эффекторными молекулами, разрушающими капсулу бляшки. Для этой цели используются такие препараты как доксициклин и селективный модулятор эстрогеновых рецепторов ралоксифен, а также разрабатываются и испытываются на животных селективные ингибиторы различных ММП [16].

В последние годы большое внимание привлечено к использованию микроРНК – малых некодирующих молекул РНК, вовлечённых в регуляцию экспрессии генов. Показано, что некоторые микроРНК могут играть важную роль в дестабилизации АСБ – например, снижение уровня miR-221 и miR-222 ассоциировано с разрывом бляшки у пациентов с каротидным атеросклерозом [17]. В настоящее время разрабатываются методы как для локального увеличения концентраций различных микроРНК, так и для ингибирования других микроРНК.

Профилактика и лечение сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка

Примерно половина больных с сердечной недостаточностью (СН) имеют сохраненную фракцию выброса (ФВ), и распространённость этой формы СН по отношению к другой форме СН – СН с низкой фракцией выброса (СНнФВ), – продолжает увеличиваться с частотой 1% в год. Сердечная недостаточность с

сохранной фракцией выброса (СНсФВ) является тяжелым заболеванием - 5-летняя выживаемость при ней составляет 50%, а риск повторных госпитализаций превышает 50% за первые 6 месяцев после выписки из стационара [18]. Несмотря на всю значимость СНсФВ, в отличие от СНнФВ на сегодняшний день отсутствуют эффективные средства ее лечения. Ни один класс препаратов, способных улучшить прогноз при СНнФВ, не доказал свою состоятельность при СНсФВ, что во многом объясняется различными пусковыми механизмами этих двух форм сердечной недостаточности - гибель клеток в случае СНнФВ и хроническое воспаление в случае СНсФВ.

До недавнего времени о патофизиологии СНсФВ было мало что известно, однако ситуация кардинально изменилась с тех пор как изучение биопсийных материалов, полученных от больных с СНсФВ, позволили сформулировать «воспалительную» концепцию развития СНсФВ. Согласно этой концепции, ключевое место в патогенезе СНсФВ и прогрессирования нарушения функции расслабления миокарда занимает дисфункция эндотелия коронарного микроциркуляторного русла, наступающая в результате хронического воспаления, поддерживаемого такими внесердечными заболеваниями и состояниями, как артериальная гипертония, ожирение, сахарный диабет, хроническая болезнь почек. На сегодняшний день эта концепция развития СНсФВ подтверждена целым рядом доказательств [19].

В нескольких экспериментальных моделях с СНсФВ были получены положительные данные по целому ряду противовоспалительных стратегий: антагонистов хемокинов, иммуномодуляторов, блокаторов рецепторов/антител к интерлейкину-1, модуляторов внеклеточного матрикса, пентраксинов, блокаторов внутриклеточной передачи провоспалительных сигналов. В 2014 году в США была предпринята попытка применения блокатора рецепторов к интерлейкину-1 - препарата анакинры у больных с СНсФВ и повышенной концентрацией С-реактивного белка (испытание D-HART). В этом испытании введение анакинры в течение 2 недель 12 больным сопровождалось достоверным увеличением пикового потребления кислорода (VO_2). В более продолжительном испытании D-HART-2 с участием 31 больного введение анакинры в течение 12 недель хотя и не привело к увеличению пикового VO_2 , тем не менее сопровождалось снижением уровня мозгового натрийуретического гормона [20].

Одним из ранних событий в ходе развития воспаления в гипертрофированном миокарде является увеличение выработки эндотелиальными клетками и макрофагами миокарда моноцитарного хемотаксического белка-1 (MCP-1). Как было показано в нескольких экспериментальных моделях с гипертрофией левого желудочка сердца подавление активности этого белка путём генных манипуляций [21] или посредством введения блокирующих антител [22] предотвращало развитие фиброза миокарда и улучшало функцию расслабления миокарда. В НИИЦ кардиологии Минздрава России ведутся работы по созданию пролонгированной формы пептидного антагониста MCP-1 - отечественного препарата «инграмон» с последующей оценкой его эффективности у больных с СНсФВ.

Поиск новых путей лечения сердечной недостаточности с низкой фракцией выброса левого желудочка

Несмотря на значительные успехи в лечении сердечной недостаточности с низкой фракцией выброса, она по-прежнему является одним из ведущих факторов инвалидизации и смертности. К перспективным направлениям в разработке новых препаратов для лечения сердечной недостаточности относится изучение действия лигандов рецепторов, сопряженных с G-белками, на метаболизм и функцию сердца. Эти соединения способны запускать механизмы фармакологического пре- и

посткондиционирования, защищая миокард от ишемического и реперфузионного стресса. Одними из таких соединений является природный пептид апелин-12 - лиганд трансмембранного APJ-рецептора в кардиомиоцитах и клетках сосудов. Механизмы его действия связаны с запуском сигнальных каскадов, включающих MEK1/2-/ERK1/2 и PI3K-Akt киназы, мишенями которых являются эндотелиальная NO-синтаза и митохондриальные АТФ-зависимые K⁺-каналы. Апелин способен препятствовать развитию сердечной недостаточности посредством целого комплекса воздействий, включающих положительный эндогенный инотропный эффект, вазодилатации через NO зависимый механизм, регуляции центрального водный гомеостаз, нейтрализации отрицательных эффектов АТ II. В ФГБУ НМИЦ кардиологии Минздрава России по инициативе и под руководством академика РАН Е.И. Чазова был синтезирован и охарактеризован модифицированный аналог природного апелина-12 с условным названием «метилин». На моделях ишемического-реперфузионного повреждения сердца у крыс и моделях сердечной недостаточности у крыс и кроликов было показано, что «метилин» обладает свойствами метаболического протектора и стабилизатора мембран кардиомиоцитов, антиоксиданта и вазодилататора, а также положительным инотропным действием, причем доказаны его преимущества по сравнению с природным апелином в плане более выраженного инотропного и вазодилатирующего свойств, большей стабильности [23].

Снижение резидуального (остаточного) сердечно-сосудистого риска

Крупные проспективные исследования последних 15 лет показали, что терапия статинами приводит к снижению риска сердечно-сосудистых осложнений (ССО) на 25-35%. Однако, несмотря на многокомпонентную терапию, включающую помимо высокоинтенсивных доз статинов также ингибиторы АПФ/сартаны и современные гипогликемические препараты при наличии показаний, остаточный риск ССО у большей части больных остается высоким даже при условии достижения целевых уровней липопротеидов низкой плотности (ЛПНП). Современная стратификация риска ССО позволяет выделить данную категорию больных очень высокого риска, которые в наибольшей степени нуждаются в динамическом наблюдении и эскалации терапии. Ингибиторы пропротеинконвертазы субтилизин/кексин 9 типа (PCSK9) являются человеческими моноклональными антителами и относятся к новому классу современных гиполипидемических препаратов. В исследовании FOURIER у пациентов с клинически выраженным атеросклерозом была продемонстрирована высокая гиполипидемическая эффективность ингибитора PCSK9 эволокумаба - уровень ЛПНП снизился на 59% от исходных значений, что сопровождалось снижением относительного риска развития комбинированного показателя (сердечно-сосудистая смерть, ИМ или инсульт) на 20% по сравнению с группой плацебо [24].

В исследовании CANTOS было показано, что терапия канакинумабом, являющегося человеческим моноклональным антителом к интерлейкину (ИЛ)-1бета, приводила к снижению относительного риска развития комбинированной первичной конечной точки (нефатальный ИМ, нефатальный инсульт, сердечно-сосудистая смерть) на 15%. При этом происходило значительное снижение уровня маркера воспаления СРБ крови без значимого изменения уровня проатерогенных липидов [14].

В формировании атеросклеротических поражений артерий принимают участие различные типы иммунных клеток, которые продуцируют спектр цитокинов и других биологических активных молекул, обладающих про- и антиатерогенными свойствами, как, например, ИЛ-10, который потенцирует выведение холестерина макрофагами, ингибирует продукцию воспалительных цитокинов и подавляет апоптоз [25]. Около десяти лет назад появились и стали накапливаться клинические данные о дисбалансе

регуляторных и эффекторных субпопуляций Т-лимфоцитов у больных ИБС. Т-клеточные субпопуляции, составляющие АСБ, гетерогенны по составу и функциям. Так, Т-хелперы (Тх) 1 и Тх17 осуществляют проатерогенное действие за счет синтеза провоспалительных цитокинов и межклеточных взаимодействий. Различные субпопуляции регуляторных Т-лимфоцитов (Трег) оказывают антиатерогенный эффект, реализованный посредством продукции противовоспалительных цитокинов, контактного подавления функциональной активности Т-хелперов и антигенпрезентирующих клеток. В дальнейшем развитии атерогенеза анти- и проатерогенные Т-клетки оказывают противоположное действие на экспрессию молекул адгезии и костимуляторных молекул, синтез цитокинов, хемокинов и ММП, а также на молекулярные и клеточные компоненты стабильности АСБ.

В НИИЦ кардиологии Минздрава России показано, что многососудистое и быстро прогрессирующее атеросклеротическое поражение коронарных и сонных артерий сопровождается снижением содержания Трег и увеличением Тх17. Установлено, что снижение ($<3,5\%$) содержания ИЛ-10-продуцирующих Т-клеток и отношения ИЛ10/ИЛ-17 ($<1,5$) являются фактором риска прогрессии коронарного АС [26], а сочетание уровня липопротеида (а) (Лп(а)) более 12 мг/дл и Тх17 более 11,5 тыс./мл многократно увеличивает риск развития тяжелого и прогрессирующего АС коронарных артерий [27]. Помимо этого, было показано, что дисбаланс Трег/Тх17 является фактором риска прогрессирования АС сонных артерий у больных, достигших «целевых» уровней ЛПНП [28].

Хорошо известно, что статины обладают отчетливой иммуномодулирующей активностью, которая, однако, зависит от физико-химических свойств молекулы, прежде всего, липофильности. Было показано, что на фоне приема липофильного аторвастатина, но не гидрофильного розувастатина, происходит увеличение относительного содержания циркулирующих Трег, соотношения Трег/Тх17 при одновременном уменьшении соотношения активированные CD4+Т-клетки/Трег. Установлено дозозависимое ингибирование статинами пролиферации CD4+ Т-лимфоцитов. В культуре ФНО-активированных эндотелиальных клеток, розувастатин и аторвастатин вызывали перераспределение молекул адгезии ICAM-1 и VCAM-1 на мембране клетки [29].

Другим резервом снижения резидуального сердечно-сосудистого риска является контроль уровня липопротеид(а). Липопротеид(а) рассматривается как независимый фактор риска атеросклеротических ССЗ за счет наличия в его молекуле ЛНП-подобной частицы. Кроме того, присутствие уникального апоБелка(а), обладающего структурной гомологией с молекулой плазминогена, обуславливает участие Лп(а) в процессах тромбоза. Большинство эпидемиологических исследований свидетельствуют, что уровень Лп(а) $>25-30$ мг/дл ассоциируется с увеличением риска ИМ и смерти от ИБС в 1,4-1,7 раза независимо от уровня липидов крови и наличия или отсутствия доказанного атеросклеротического поражения [30]. В работах выполненных в НИИЦ кардиологии Минздрава России показано, что у молодых мужчин с хронической ИБС частота высокого (более 30 мг/дл) уровня Лп(а) достигает 50%, а при длительном (до 15 лет) наблюдении за больными после успешной операции коронарного шунтирования уровень Лп(а) выше 30 мг/дл связан с увеличением относительного риска сердечно-сосудистых осложнений более чем в 3 раза [31].

Считается, что диета и классические липотропные препараты не влияют на уровень Лп(а), за исключением никотиновой кислоты. Более того, при приеме статинов отмечается даже его некоторое повышение. Такие современные гиполипидемические препараты, такие как ингибиторы СЕТР (анацетрапиб), анти-апоВ антисмысловые олигонуклеотиды (мипомерсен) и ингибиторы PCSK9 приводят

к умеренному на 30% снижению уровня Лп(а) [32]. У НМИЦ кардиологии Минздрава России имеется приоритет в мире по применению специфического афереза Лп(а): после одной процедуры возможно снижение концентрации в крови на 70-80% [33, 34]. В настоящее время завершены исследования фазы 2 с анти-апо-а антисмысловым олигонуклеотидом, при инъекционном введении которого 1 раз в неделю наблюдается выраженное снижение уровня Лп(а) на 80-90% [35].

Новым возможным подходом к медикаментозному контролю уровня Лп(а) является создание метода подавления активности его гена на основе рибозима. HDV рибозим, являющийся частью геномной и антигеномной структуры дельта вируса гепатита в природной структуре вириона, предназначен для расщепления РНК вириона *in cis*, что требуется для инициации репликации генома вируса. Показано, что рибозим может быть реконструирован для расщепления РНК *in trans* [36]. Его структура такова, что обеспечивает специфичность, задаваемую последовательностью, длиной в 6-7 нуклеотидов. Этого недостаточно, чтобы селективно подавить активность гена, содержащего уникальную адресную последовательность, но может оказаться вполне достаточной для мРНК LPA(a), содержащей несколько десятков повторов, кодирующих крингл-домены этого липопротеина. Разработка этого метода началась в НМИЦ кардиологии Минздрава России.

Другой подход к уменьшению резидуального риска может быть основан на снижении уровня триглицеридов и повышении уровня ЛВП. Его обоснованием служат результаты крупнейшего мета-анализа работ с участием 300 000 человек, в котором была продемонстрирована прямая связь между уровнем триглицеридов и риском развития ИМ, которая однако нивелировалась после учета классических факторов риска атеросклероза [37]. Хорошо известна обратная связь между риском ИМ и концентрацией холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛВП). Однако, клинические исследования с ингибиторами СЕТР, резко увеличивающими уровень ЛВП, закончились неудачей - не было отмечено снижения частоты сердечно-сосудистых осложнений. В настоящее время проводятся исследования с препаратом «воланесорсен» - антисмысловым ингибитором 2-го поколения для снижения уровня мРНК APOC3, на фоне которой отмечается как снижения концентрации апоС3, триглицеридов, так и увеличение уровня ЛВП [38].

Проблема повышения приверженности к лекарственной терапии ССЗ в режиме длительной вторичной профилактики

В существенной мере эффективность длительной вторичной профилактики ССЗ ограничивается недостаточной приверженностью пациентов к рекомендованному медикаментозному лечению терапии. Необходимость длительного, а по сути, пожизненно приема, как правило, нескольких препаратов является не простой задачей для пациентов и с психологической, и общеклинической, а также экономической точек зрения, тем более что в значительной части случаях медикаментозная терапия назначается достаточно молодым пациентам.

Однако на сегодняшний день долговременная медикаментозная терапия ССЗ и в частности, артериальной гипертонии, в абсолютном большинстве случаев является безальтернативной. Попытки создания вакцин с целью длительного контроля артериального давления оказались неудачными. В то же время перспективным представляется подход с использованием методов генной терапии. Для достижения долговременного контроля артериального давления предпринимаются попытки редактирования генома, использования вирусов для доставки генетической информации, отвечающей за соотношение вазодилатации/ вазоконстрикции и гипертрофию, создание антисмысловых олигонуклеотидов, подавляющих

трансляцию или транскрипцию генов, которые отвечают за продукцию вазоконстрикторов [39]. Успешным примером клинического эффекта генной терапии может служить инклиризан – гиполипидемический препарат, блокирующий ген, который регулирует синтез PCSK9 в печени. Препарат назначается в виде инъекции 1 раз в 6 месяцев и обеспечивает 40-50% снижение уровня холестерина липопротеинов низкой плотности в течение 9 месяцев наблюдения [40].

Учитывая эпидемический характер распространения неинфекционных, прежде всего ССЗ, и очень высокую долю ССЗ в структуре общей смертности становится очевидным, что применяемые на сегодня методы диагностики и лечения, в том числе высокотехнологичные, не достаточны и нужны новые, в том числе принципиально новые решения, базирующиеся на достижениях фундаментальной медицины.

Автор благодарит за помощь в подготовке публикации Парфенову Е.В., Погосову Н.В., Фоворову О.О., Ежова М.В., Сергиенко И.В., Потехину А.В., Овчинникова А.Г., Проваторова С.И., Балацкого А.В., Воротникова А.В., Стафеева Ю.В.

Список литературы

1. Hippisley-Cox J., Coupland C., Vinogradova Y. et al. Predicting cardiovascular risk in England and Wales: prospective derivation and validation of QRISK2. *BMJ* 2008; 336:a332.
2. Метельская В.А., Гаврилова Н.Е., Яровая Е.А., Бойцов С.А. Интегрированный биомаркер: возможности неинвазивной диагностики коронарного атеросклероза. *Российский кардиологический журнал*, 2017; 6 (146): 132-138.
3. Wurtz P., Havulinna A., Soininen P., et al. Metabolite profiling and cardiovascular event risk: a prospective study of 3 population-based cohorts. *Circulation* 2015; 131(9):774-85.
4. Dai X, Wiernek S, Evans JP, Runge MS. Genetics of coronary artery disease and myocardial infarction. *World J Cardiol*. 2016 Jan 26;8(1):1-23.
5. Maher B. Personal genomes: The case of the missing heritability. *Nature*. 2008 Nov 6; 456(7218):18-21.
6. Manolio, T. A., Collins, F. S., Cox, N. J. et al. Finding the missing heritability of complex diseases. *Nature*, 2009; 461(7265):747-757.
7. Ershova, A.I., Meshkov, A.N., Bazhan S.S. et al. The prevalence of familial hypercholesterolemia in the West Siberian region of the Russian Federation: A substudy of the ESSE-RF. *PloS one*. 2017; 12(7), e0181148.
8. Khera A.V., Chaffin M. et al. Genome-wide polygenic scores for common diseases identify individuals with risk equivalent to monogenic mutations. *Nature Genetics*, 2018; 50, 1219-1224.
9. Бойцов С.А., Киселева А.В., Хлебус Э.Ю. и соавт. Изучение влияния курения, как фактора риска атеросклероза, на уровень метилирования ДНК. *Проф. медицина* 2015; 6: 66-70.
10. Zhou J., Poudel A., Chandramani-Shivalingappa P. et al. Liraglutide induces beige fat development and promotes mitochondrial function in diet induced obesity mice partially through AMPK-SIRT-1-PGC-1- α cell signaling pathway. *Endocrine* 2019; Vol.64: 271-283.
11. Yla-Herttuala S., Bentzon J., Daemen M. et al. Stabilization of atherosclerotic plaques: an update. *Eur Heart J*, 2013. 34(42): p. 3251-8.
12. Micha R., Imamura F., Wyler von Ballmoos M. et al. Systematic review and meta-analysis of methotrexate use and risk of cardiovascular disease. *Am J Cardiol*, 2011. 108(9): p. 1362-70.
13. Dormandy J., Charbonnel B., Eckland D.J. et al. Secondary prevention of macrovascular events in patients with type 2 diabetes in the PROactive Study (PROspective pioglitAZone Clinical Trial In macroVascular Events): a randomised controlled trial. *Lancet*, 2005. 366(9493): p. 1279-89.
14. Ridker P.M., Everett B.M., Thuren T. et al. Antiinflammatory Therapy with Canakinumab for Atherosclerotic Disease. *N Engl J Med*, 2017. 377(12): p. 1119-1131.
15. Arefieva T.I., Krasnikova T.L. et al. Synthetic peptide fragment (65-76) of monocyte chemoattractant protein-1 (MCP-1) inhibits MCP-1 binding to heparin and possesses anti-inflammatory activity in stable angina patients after coronary stenting. *Inflamm Res*. 2011 Oct;60(10):955-64.
16. Johnson J.L., Devel L. et al. A selective matrix metalloproteinase-12 inhibitor retards atherosclerotic plaque development in apolipoprotein E-knockout mice. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2011. 31(3): p. 528-35.

17. Bazan, H.A., Hatfield S.A., O'Malley C.B. et al. Acute Loss of miR-221 and miR-222 in the Atherosclerotic Plaque Shoulder Accompanies Plaque Rupture. *Stroke*, 2015. 46(11): p. 3285-7.
18. Steinberg B.A., Zhao X., Heidenreich P.A. et al. Trends in patients hospitalized with heart failure and preserved left ventricular ejection fraction: prevalence, therapies, and outcomes. *Circulation*. 2012 Jul 3;126(1):65-75.
19. Paulus W.J., Dal Canto E. Distinct Myocardial Targets for Diabetes Therapy in Heart Failure With Preserved or Reduced Ejection Fraction. *JACC Heart Fail*. 2018 Jan; 6(1):1-7.
20. Van Tassell B.W., Trankle C.R., Canada J.M. et al. IL-1 Blockade in Patients With Heart Failure With Preserved Ejection Fraction. *Circ Heart Fail* 2018 Aug;11(8):e005036.
21. Haudek S.B., Cheng J., Du J. et al. Monocytic fibroblast precursors mediate fibrosis in angiotensin-II-induced cardiac hypertrophy. *J Mol Cell Cardiol* 2010 Sep;49(3):499-507.
22. Kuwahara F., Kai H., Tokuda K. Hypertensive myocardial fibrosis and diastolic dysfunction: another model of inflammation? *Hypertension* 2004 Apr; 43(4): 739-45.
23. Studneva I., Shulzhenko V., Veselova O., Pisarenko O. Protective effects of a modified apelin-12 and dinitrosyl iron complexes in experimental cardioplegic ischemia and reperfusion. *J Physiol Biochem*. 2018 May;74(2): 283-290.
24. Sabatine M.S., Giugliano R.P., Keech A.C. et al. Evolocumab and clinical outcomes in patients with cardiovascular disease. *N Engl J Med*. 2017;376(18):1713-22.
25. Han X., Kitamoto S., Lian Q., Boisvert W.A. Interleukin-10 facilitates both cholesterol uptake and efflux in macrophages. *J Biol Chem*. 2009 Nov 20; 284(47): 32950-8.
26. Filatova A. Yu., Pylaeva E.A., Potekhina A.V. et al. Low Blood Content of IL-10-Producing CD4+ T Cells as a Risk Factor for Progression of Coronary Atherosclerosis Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2019. V. 166, Issue 3, pp 330-333.
27. Афанасьева О.И., Пылаева Е.А., Клесарева Е.А. и соавт. Липопротеид(а), аутоантитела к нему и циркулирующие субпопуляции т-лимфоцитов как независимые факторы риска атеросклероза коронарных артерий. *Терапевтический архив*. 2016. Т. 88. № 9. С. 31-38.
28. Филатова А.Ю., Пылаева Е.А., Потехина А.В. и соавт. Субпопуляционный состав Т-лимфоцитов как фактор, способствующий прогрессированию атеросклероза сонных артерий. *Кардиология*. 2017. Т. 57. № 4. С. 64-71.
29. Филатова А.Ю., Потехина А.В., Рулева Н.Ю. и соавт. Влияние аторвастатина и розувастатина у пациентов с атеросклерозом на показатели клеточного иммунитета и на активацию лейкоцитов in vitro. *Рос. кардиологический журнал*. 2018. Т. 23. № 8. С. 59-64.
30. Danesh J., Collins R., Peto R. Lipoprotein(a) and coronary heart disease. Meta-analysis of prospective studies. *Circulation*. 2000 Sep 5;102(10):1082-5.
31. Ezhov M.V., Safarova M.S., Afanasieva O.I. et al. Lipoprotein(a) level and apolipoprotein(a) phenotype as predictors of long-term cardiovascular outcomes after coronary artery bypass grafting. *Atherosclerosis*. 2014 Aug; 235(2): 477-82.
32. Jayasinghe R., Craig I.H., Mohan R.K. Lipoprotein (A) in clinical practice. *J Pak Med Assoc*. 2014 Apr; 64(4): 447-50.
33. Pokrovsky S.N., Adamova I.Yu., Afanasieva O.Y., Benevolenskaya G.F. Immunosorbent for selective removal of lipoprotein (a) from human plasma: in vitro study. *Artif Organs*. 1991 Apr; 15(2).
34. Pokrovsky S.N., Sussekov A.V., Afanasieva O.I. et al. Extracorporeal immunoadsorption for the specific removal of lipoprotein (a) (Lp(a) apheresis): preliminary clinical data. *Chem Phys Lipids*. 1994 Jan; 67-68:323-30.
35. Tsimikas S., Viney N.J., Hughes S.G. et al. Antisense therapy targeting apolipoprotein(a): a randomised, double-blind, placebo-controlled phase 1 study. *Lancet*. 2015 Oct 10; 386(10002):1472.
36. Savochkina L., Alekseenkova V., Belyanko T. et al. Properties of antigenomic hepatitis delta virus ribozyme cis- and trans- analogs. *Nucleosides Nucleotides Nucleic Acids*. 2004 Oct;23(6-7):935.
37. Di Angelantonio E., Sarwar N., Perry P. et al. Major lipids, apolipoproteins, and risk of vascular disease. *Emerging Risk Factors Collaboration*. *JAMA*. 2009 Nov 11; 302(18): 1993-2000.
38. Gaudet D., Alexander V.J., Baker B.F. et al. Antisense Inhibition of Apolipoprotein C-III in Patients with Hypertriglyceridemia. *N Engl J Med*. 2015 Jul 30; 373(5): 438-47.
39. Chen P.G., Sun Z. AAV Delivery of Endothelin-1 shRNA Attenuates Cold-Induced Hypertension. *Hum Gene Ther* 2017; 28(2):190-199.
40. Ray K., Landmesser U., Leiter L.A. et al. Inclisiran in Patients at High Cardiovascular Risk with Elevated LDL Cholesterol. *N Engl J Med* 2017; 376:1430-1440.



**ОТДЕЛЕНИЕ
СЕЛЬСКО-
ХОЗЯЙСТВЕННЫХ
НАУК**



В.П. Якушев¹, В.В. Якушев²

Состояние и перспективы научного обеспечения в реализации приоритета «умное сельское хозяйство» России

Введение

В Стратегии научно-технологического развития РФ, утверждённой Указом Президента РФ от 01 декабря 2016г. №642, подчёркивается, что одним из основных инструментов, обеспечивающих преобразование фундаментальных знаний, результатов поисковых и прикладных исследований в продукты и услуги, способствующие достижению лидерства России на перспективных рынках в рамках имеющихся, так и возникающих приоритетов, должна стать Национальная технологическая инициатива (НТИ). Подход с использованием мероприятий НТИ должен изменить роль науки и технологий в развитии общества, экономики и государства и, в частности, обеспечит переход к высокопродуктивному, ресурсосберегающему и экологически чистому производству в сельском хозяйстве. Данный переход, безусловно, предполагает обеспечение продовольственной безопасности и продовольственной независимости, повышения конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижения технологических рисков в агропромышленном комплексе (АПК). При этом необходимо учитывать существующие демографические и природные условия России, а также экологические требования и стандарты, предъявляемые к сельскохозяйственному производству и пищевой промышленности.

В настоящее время производство растениеводческой продукции (зерна, картофеля, овощей, фруктов, кормов для животных и рыбоводства) - основа всего сельскохозяйственного производства продуктов питания и сырья для перерабатывающей промышленности. Количество и качество произведённой растениеводческой продукции и сырья обеспечивают продовольственную безопасность и продовольственную независимость страны. По оценкам специалистов-аграриев Россия способна обеспечить качественным продовольствием до 700 млн. человек (помимо собственного населения), так как она обладает достаточным климатическим и земельным потенциалом, благодаря которому может выйти в мировые лидеры по производству сельскохозяйственной продукции и получать доходы от её экспорта, превышающие доход от нефтегазовой отрасли экономики. Россия имеет 9% мировой продуктивной пашни, более половины мировых чернозёмов, 20% мировых запасов пресной воды и производит около 9% мирового объёма минеральных удобрений. В то же время на сельскохозяйственной территории России господствует экстенсивное земледелие, базирующееся на эксплуатации естественного плодородия почв. Средняя урожайность зерновых в стране составляет около 25 ц/га, что существенно ниже средних показателей развитых стран. Экстенсивный путь увеличения объёмов производства растениеводческой продукции для России является практически бесперспективным и не позволяет добиться устойчивого роста экономической эффективности. Достижения возможны только на основе разработки и внедрения инновационного сценария развития АПК.

Инновационный вариант производства в АПК, в соответствии с указом президента России № 204 от 7 мая 2018 года «О национальных целях и стратегических задачах

¹ Агрофизический научно-исследовательский институт, академик РАН

² Агрофизический научно-исследовательский институт, член-корреспондент РАН

развития Российской Федерации на период до 2024 года», должен базироваться на внедрении цифровых технологий и платформенных решений «умного сельского хозяйства». Наиболее отвечающей принципам «умного сельского хозяйства» в настоящее время является цифровая технология точного земледелия, в основе научной концепции которой лежат представления о практически повсеместном существовании в пределах каждого сельскохозяйственного поля природной пространственно-временной неоднородности, которую необходимо учитывать при планировании и выполнении различных агроприёмов. Точное земледелие (ТЗ) занимается разработкой стратегии и тактики технического и информационного обеспечения систем земледелия, включая новые методы, приборы, стационарные и мобильные информационно-измерительные комплексы, программно-аппаратные средства. При этом основополагающими являются выработка и реализация технологических приемов дифференцированного управления продукционным процессом сельскохозяйственных посевов с учетом биологической специфики культуры и сорта, локальных условий почвенного питания растений и микроклиматических особенностей территории. Набор дифференцированных технологических воздействий зависит от выявленной изменчивости и степени неоднородности характеристик почв или растительного покрова того или иного сельскохозяйственного поля. Далее кратко рассмотрим научно-технический потенциал точного земледелия и роль адаптивно-ландшафтной теории проектирования систем земледелия нового поколения, а также важнейшие задачи науки в развитии «умного сельского хозяйства» России.

Сложившийся научно-технический потенциал для внедрения и масштабируемости технологий точного земледелия.

Термин «точное земледелие» появился в 1990-е годы как результат естественного развития понятия «устойчивое земледелие». Один из основоположников методологии точного земледелия доктор П. Роберт (США) в 1999 г. определил его как основанную на информации и технологиях сельскохозяйственную систему менеджмента для идентификации, анализа и управления с учётом дифференцированных пространственных и временных почвенных вариаций на отдельно взятом поле с целью оптимизации затрат, повышения устойчивости агроценозов и достижения экологической стабильности производства [1]. Впервые в мире идею ТЗ выдвинул основатель и первый директор АФИ А.Ф. Иоффе в виде концепции «электронного агронома». Выступая в 1955 г. в Большом Кремлёвском дворце на Всесоюзном совещании учёных-агрономов, зоотехников и биологов, академик сказал: «Недалеко то время, когда решающую роль в управлении сложнейшей отраслью человеческой деятельности будет играть электронный агроном, способный учесть множественность сложнейших зависимостей в сельском хозяйстве и предложить единственно правильное решение по оперативному управлению сельскохозяйственным предприятием» [2]. С целью реализации данной идеи А.Ф. Иоффе предложил рассматривать сообщество растений на поле или в теплице, среду их обитания и целенаправленную деятельность человека как единую агроэкологическую систему, которую можно в достаточном приближении описать на языке математики и тем самым создать условия для выбора оптимальных агротехнических решений, анализируя при этом количественные оценки поведения рассматриваемой системы в различных условиях. При таком подходе появляется уникальная возможность ответить на многочисленные вопросы: какой урожай может быть получен в конкретных почвенно-климатических условиях на заданном участке земли, какие при этом потребуются ресурсы, как эффективно управлять формированием урожая, какие изменения будет претерпевать почва в результате применения той или иной

технологии. Основная особенность данной методологии заключается в переходе от интуитивных решений, основанных только на опыте земледельца, к количественно обоснованным приемам управления технологическими процессами с использованием компьютеров.

В настоящее время в АФИ накоплен опыт применения точных технологий, свидетельствующий о значительных перспективах раскрытия их потенциальных возможностей. Организован функционирующий с 2002 года Центр Точного Земледелия (ЦТЗ-АФИ), где проводятся испытания импортного и отечественного оборудования, программно-аппаратных средств, приборов и сельскохозяйственных машин, используемых в прецизионном производстве растениеводческой продукции. Развернулись интенсивные сопряжённые дистанционные и наземные многолетние исследования по изучению влияния сложности и контрастности почвенного покрова на продуктивность различных сельскохозяйственных культур, а также работы по созданию научных основ, технических и программно-математических средств применения прецизионных приемов производства растениеводческой продукции в полевых условиях [3-18].

Разработанные и апробированные в ЦТЗ-АФИ математические, алгоритмические и программные средства автоматизированного проектирования систем ведения сельскохозяйственного производства на уровне конкретного хозяйства наилучшим образом обеспечивают равновесие между степенью использования адаптивно-ландшафтной методологии и современных технологий прецизионного производства. В качестве примера на рис. 1 представлена концептуальная схема автоматизированного проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) для сельскохозяйственного предприятия Северо-Западного региона РФ. АЛСЗ, как правило, является основной системой организации сельскохозяйственного производства в хозяйствах, имеющих земельные ресурсы. Важно подчеркнуть, что **проектирование АЛСЗ в рамках системы ведения хозяйства является необходимым условием и начальным этапом научного обоснования и последующей генерации прецизионных технологий производства растениеводческой продукции и сырья** [19, 20].

Выбор цели проектирования АЛСЗ для конкретного хозяйства определяется стратегией хозяйствования в регионе. На Северо-Западе РФ, например, суть такой стратегии заключается в финансовом оздоровлении отрасли АПК и улучшении социальной обстановки в сельской местности за счёт преимущественного развития молочного животноводства и птицеводства. При этом основным вопросом остаётся развитие собственной кормовой базы.

Разработка этапов проектирования АЛСЗ (рис. 1) начинается с предпроектного мониторинга. Предпроектный мониторинг представляет собой систему специальных исследований режимов агроландшафтов с использованием наземных, авиационных и космических средств наблюдения, выполняемых с целью получения информации, достаточной для анализа агроландшафтного потенциала и принятия решений по его рациональному использованию. Немаловажной задачей мониторинга является сбор информации о взаимодействии основных элементов агроландшафтов и агроэкосистем для последующего построения специализированных математических моделей, используемых при проектировании землеустройства территории, организации севооборотов и генерации адаптивных технологий, включая возможность построения электронных карт-заданий для реализации конкретных агроприемов в системе точного земледелия.

Важнейшими особенностями региональной системы земледелия должны быть разработка стратегии и тактики приведения её в действие, подготовка экономических

и организационных решений, обуславливающих и стимулирующих её реальное освоение. Во-первых, следует решить вопрос о том, какая именно сельскохозяйственная продукция будет выращиваться и в каких количествах она будет производиться. Во-вторых, необходима расстановка производственных приоритетов с позиции самообеспечения населения региона данной продукцией. Здесь как раз проявляется связь между системами разных масштабов. Определение приоритетов обязывает администрацию региона предпринять определенные действия для стимулирования производства определенной продукции, что автоматически ведёт к созданию конъюнктуры.

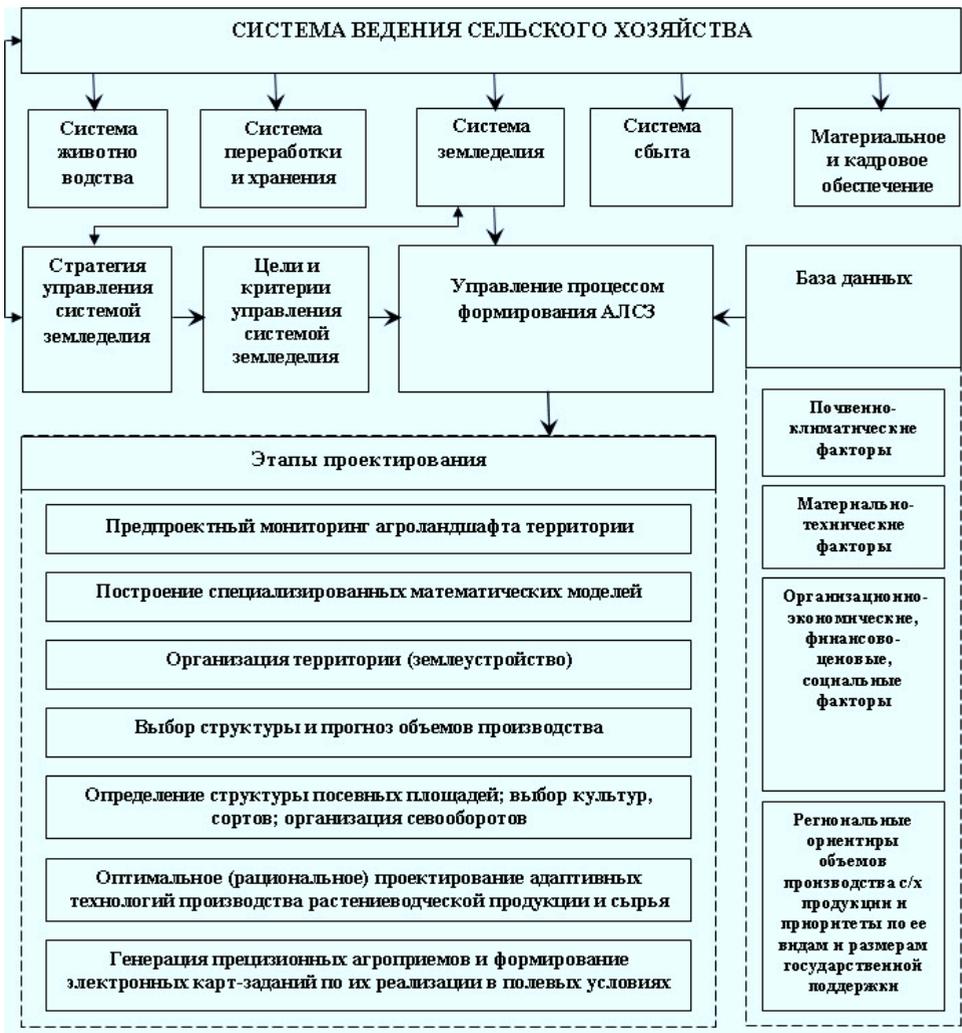


Рис. 1. Концептуальная схема автоматизированного проектирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия (АЛСЗ)

Построение программы производства основных видов растениеводческой продукции в соответствии с принятой стратегией ведения хозяйства и прогнозируемой конъюнктурой регионального рынка осуществляется с помощью бизнес-

планирования. Это способствует достижению при помощи финансово-экономических методов компромисса между рыночным спросом на основные виды сельскохозяйственной продукции и производственными возможностями базовых отраслей АПК. Критерием оптимальности программы является приведенный доход отрасли, наиболее полно учитывающий движение материальных и денежных потоков. В конечном итоге должно быть найдено несколько приемлемых вариантов, из которых хозяйствующий субъект выбирает оптимальный. Выбранный вариант структуры и объемов производства является уже обоснованием разработки адаптивно-ландшафтных технологий для конкретного хозяйства и последующей генерации прецизионных приемов производства растениеводческой продукции и сырья.

Таким образом, разработанная АЛСЗ для заданного хозяйства является научным обоснованием для последующего перехода к синтезированию информационных технологий точного земледелия и их реализации в конкретных почвенно-климатических и экономических условиях. Конструирование прецизионных агроприемов производства растениеводческой продукции должно осуществляться с помощью компьютерных систем поддержки принятия решений (СППР), основанных на знаниях [21, 22].

На рис. 2 представлена структура созданной в АФИ интеллектуальной системы (ИС) нового поколения, ядром которой является база знаний. Для поддержки принятия решений на различных временных уровнях система включает в себя, наряду с базой знаний, следующие функциональные блоки: базу данных, ГИС-инструменты, подключаемые модули, интерфейсы экспертного и пользовательских уровней, машину вывода (генерация адаптивных агротехнологий), интерфейсы приема/передачи данных с бортовыми и полевыми компьютерами [23].



Рис. 2. Функциональная структура интеллектуальной системы

Центральной парадигмой интеллектуальных технологий в настоящее время является представление, формализация и обработка знаний. Рассматриваемая ИС управления агротехнологиями – это прототип СППР, основанной на знаниях и ориентированной на тиражирование опыта высококвалифицированных специалистов. Предлагаемая ИС должна стать мощнейшим подспорьем в экспертной оценке сложившейся и прогнозной ситуации и выработке оптимального решения. Система имеет два интерфейсных уровня – экспертный и пользовательский. На экспертном уровне работают специалисты в области агротехнологий, т.е. эксперты-профессионалы, создающие типовые или базовые агротехнологии, технологические адаптеры с возможностью подключения при выработке решения математических моделей (программно реализованные подключаемые модули). На указанном уровне идет также заполнение нормативной Базы данных (БД) справочной информацией, используемой в системе для формирования Базы знаний (БЗ) – агротехнологическими картами и адаптерами, т.е. знаниями экспертов, формализованными в электронном виде.

Пользовательский уровень предназначен для агрономов или руководителей, которые являются конечными потребителями тех знаний (агротехнологий, адаптеров, моделей и т.п.), которые были формализованы на экспертном уровне. На данном уровне пользователь на основании базовых агротехнологий и технологических адаптеров, созданных экспертами БЗ, генерирует адаптивные агротехнологии (технологические карты) для собственных полей с учетом актуальной информации о хозяйстве.

Полученные адаптивные агротехнологии можно оценивать с экономической и экологической точки зрения и в случае неудовлетворительных оценок менять параметры адаптивных агротехнологий (добавлять или исключать те или иные агротехнологические операции, снижать/повышать нормы внесения и т.д.). То есть еще на этапе планирования пользователь (агроном или руководитель) может смоделировать различные варианты агротехнологий на предстоящий период для каждого поля и оценить результат. Возможность редактирования агротехнологий (изменения параметров) позволяет пользователю выбрать в конечном итоге оптимальный по экономическим или экологическим параметрам пакет агротехнологий для всех полей хозяйства.

Для реализации указанной возможности пользователем производится заполнение БД актуальной для конкретного хозяйства информацией. В общем виде это основные массивы данных (рис. 2), с которыми работает сельскохозяйственное растениеводческое предприятие и которые необходимы для генерации адаптивных агротехнологий (агротехнологий, адаптированных для конкретного поля в конкретном хозяйстве).

Отличительная особенность рассматриваемого комплекса — поддержка технологий точного земледелия: создание электронных контуров полей и пространственно-ориентированных картосхем по агрохимическим и агрофизическим показателям, дифференцированное внесение агрохимикатов, работа со спутниковыми и аэрофотоснимками, импорт карт урожайности, картосхем и снимков при помощи различных протоколов обмена данными с бортовыми компьютерами сельхозтехники и мобильных комплексов. Функционал системы поддерживает возможность использования различных математических моделей и предлагает гибкий инструментарий для формализации знаний, генерации и представления результатов, в том числе с помощью ГИС-технологий. В частности, разработанный в лаборатории информационного обеспечения ТЗ института геоинформационный модуль ГИС-АФИ, интегрированный в систему, позволяет получать, хранить, анализировать и

визуализировать пространственно-ориентированные данные, привязанные к координатам с помощью GPS/ГЛОНАСС-приемников, а также создавать для сельскохозяйственной техники, оснащенной бортовыми компьютерами и GPS/ГЛОНАСС-приемниками, карты-задания на выполнение агротехнических операций дифференцированно с учетом местонахождения техники на поле. Геоинформационная база необходима для внесения минеральных удобрений, средств защиты растений и других агрохимикатов по технологии точного земледелия, а программное приложение ГИС-АФИ поддерживает все основные форматы данных, что позволяет импортировать/экспортировать ГИС-данные в/из различных источников [24].

Апробация ИС проводилась на полигоне АФИ. Изучалось несколько вариантов технологий различной интенсивности: экстенсивная технология – контрольный вариант, при котором проводятся только основные агротехнические мероприятия без дополнительных затрат; высокоинтенсивная технология, предусматривающая внесение удобрений и средств защиты растений в размерах, полностью удовлетворяющих потребность посева в период вегетации; точное земледелие, отличительной особенностью которого является дифференцированный подход к расчёту и внесению средств химизации в зависимости от показателей плодородия полей и состояния посевов. Сравнительный анализ показал, что в результате дифференцированного внесения азотных удобрений по технологии ТЗ урожайность повысилась на 29%, а их экономия составила 25,9% в среднем за 7 лет [25]. При этом сокращение объёма применяемых азотных удобрений в варианте "точное земледелие" было достигнуто в основном за счёт дифференцированных подкормок в вегетационный период.

На рис. 3 представлен процесс азотной подкормки яровой пшеницы с помощью N-сенсора (режим «on-line»). Существенным недостатком применения N-сенсора является необходимость выполнения большого объема калибровочных работ. Ограничением является также высокая стоимость прибора. В связи с целесообразностью поиска альтернативы для проведения азотных подкормок на опытных полях закладывались тестовые площадки. Тестовые площадки – это участки поля с различными дозами азотных удобрений в диапазоне от нуля до максимальной величины, которую вносят с целью получения планируемой урожайности. В результате растения на тестовых площадках имеют различные, но известные условия азотного питания и, соответственно, отличаются по оптическим характеристикам. Таким образом, на тестовых площадках моделируется весь спектр условий азотного питания растений пшеницы: от дефицита до близкого к оптимальному (рис. 4).

Регулярно проводилось дистанционное обследование посевов с помощью беспилотных летательных аппаратов самолётного и вертолётного типов, разработанных инженерами АФИ. На них размещались цифровые камеры для получения аэрофотографий посевов в видимой и инфракрасной областях спектра электромагнитного излучения. На каждой аэрофотографии поля отображались тестовые площадки с известной дозой внесённых азотных удобрений. Средние значения колориметрических (цветовых) характеристик посева на каждой из тестовых площадок являются эталонными. Посредством сравнения с ними характеристик остальных зон поля проводится оценка потребности растений в азоте. В частности, выделение участков поля, на которых необходимо внесение азотных удобрений, выполнялось с помощью созданного специалистами АФИ автоматизированного метода построения калибровочных кривых по колориметрическим характеристикам аэрофотографий посевов [26, 27].



Рис. 3. Азотная подкормка посевов на полигоне АФИ с помощью N-сенсора (режим on-line)



Рис. 4. Поле пшеницы с тестовыми площадками (цифрами обозначены дозы азота кг д.в./га)



Рис. 5. Азотная подкормка посевов без N-сенсора на основе карты-задания

Такой подход позволяет провести оценку обеспеченности растений азотом на любом участке поля и составить электронную карту-задание прецизионного внесения азотных удобрений (рис. 5). Это доступный, недорогостоящий и достаточно точный метод мониторинга посевов, оценки их потребности в азотном питании и прецизионного внесения удобрений.

Важно отметить, что при апробации ИС использовался навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» (разработка ООО «Системы точного земледелия», г. Новосибирск), который комплектуется приемником спутниковых навигационных сигналов системы ГЛОНАСС и обеспечивает субметровую точность вождения техники. В полевых условиях были задействованы две машины РМУ-8000 (Щучинский ремонтный завод, Беларусь) и Amazone (Евротехника, г. Самара), которые были оснащены электронным оборудованием для автоматического управления дозирующими элементами, а управляющим компьютером также служил навигационный комплекс «Агронавигатор плюс». Данный комплекс продемонстрирован АФИ на агропромышленной выставке «Всероссийский день поля – 2019» в Ленинградской области (рис. 6)

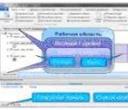
	<p style="text-align: center;">НАВИГАЦИЯ</p> <p>Emlid Reach RS2 - профессиональный мультиспостотный ГНСС RTK приемник. Reach RS2 обеспечивает надежное RTK решение с сантиметровой точностью, а его защищенный корпус позволяет стойко переносить самые неблагоприятные условия эксплуатации. Reach RS2 отлично подходит для решения задач позиционирования точного земледелия.</p>	 www.emlid.com  СДЕЛАНО В РОССИИ
	<p style="text-align: center;">СБОР ДАННЫХ</p> <p>Универсальный аэрофотосъемочный комплекс в комплектации: камера видимого диапазона, мультиспектральная камера, геодезический GNSS-приемник, 3 часа полета. С Геоскан 201 Агрогеодезия Вы сможете выполнять межевание, картографировать территорию и проводить мультиспектральную съемку для мониторинга растительности. Благодаря 2 камерам на борту съемку в видимом и ИК диапазоне можно выполнять за один полет.</p>	 www.geoscan.aero  СДЕЛАНО В РОССИИ
	<p style="text-align: center;">СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</p> <p>АФИ ГИС ® - ГИС ориентированный пакет программного обеспечения для применения в сельском хозяйстве. АФИ ГИС обладает всеми основными возможностями ГИС, в том числе: создание сети агрохимического обследования полей, управление данными, получаемыми от устройства GPS/ГЛОНАСС, введение атрибутивных данных и проведение различных вычислений, интерполяция данных, создание карт-заданий на дифференцированное внесение, использование картографических сервисов различных провайдеров (Google Map, Bing Hybrid, ESRI World и др.).</p>	 www.agrophys.ru  СДЕЛАНО В РОССИИ
	<p style="text-align: center;">УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЬЮТЕР</p> <p>Навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» - система параллельного вождения автотракторной техники с функциями автоматического управления технологическим процессом с/х растениеводства.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Управление опрыскиванием - Дифференцированное внесение удобрений - Контроль высева 	 АЭРОСОЮЗ www.aerounion.ru  СДЕЛАНО В РОССИИ
<p style="text-align: center;">ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>для разбрасывателей удобрений и посевных комплексов</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>для опрыскивания</p>  </div> </div>		

Рис. 6. Отечественное программно-аппаратное оснащение комплекса для дифференцированного внесения агрохимикатов по данным дистанционного зондирования

Первоочередные задачи науки и перспективы развития точного земледелия в России

Зарубежный и отечественный опыт внедрения ТЗ в производство за последние годы показали, что данное направление является многопрофильным и характеризуется комплексностью и сложностью научных и инженерных задач, требующих решения. Ошибочно полагать, что агроприемы ТЗ уже в скором будущем повсеместно придут на смену применяемым в настоящее время агротехнологиям и традиционным подходам. Точное земледелие развивается, но не так быстро, как предсказывали за рубежом 15 лет назад. Потребуются еще много времени и усилий для полномасштабного применения в сельскохозяйственной практике информационных технологий ТЗ [28].

Предстоит получение новых фундаментальных и прикладных знаний о продукционном процессе сельскохозяйственных культур. Управлять ростом и развитием посевов неизмеримо сложнее, чем, например, предугадать транспортные издержки предприятия, смоделировав весь объем и условия перевозок. Учесть все изменения погоды, состояния почвы, особенности продукционного процесса того или иного сорта выращиваемой сельскохозяйственной культуры в изменяющихся условиях, спрогнозировать развитие сорняков, болезней и вредителей при принятии технологического решения, а также определить приемы его выполнения в реальных условиях представляется чрезвычайно сложным. Не даны окончательные ответы на вопросы о том, какие преимущества представляет переход от управления по пространственно осредненным показателям всего поля к дифференцированной технологии воздействия по его отдельным квазиоднородным участкам и какие потери теоретически могут возникнуть в связи с игнорированием пространственной вариативности агрохимических, агрофизических условий и физиологического состояния посева в пределах поля. В связи с этим требуется дальнейшее изучение и расширение исследований в различных почвенно-климатических условиях России.

Управление невозможно без измерений, поэтому важнейшей проблемой развития ТЗ в России является разработка всевозможных автоматических датчиков и инфраструктуры управления ими. В развитых странах они разработаны и применяются в больших количествах. В то же время, несмотря на наличие широкого арсенала инструментальных средств ТЗ в развитых странах, процесс внедрения новой технологии сдерживается и там по ряду объективных и субъективных причин. Среди объективных можно назвать следующие: социально-экономические, уровень развития стран, научно-образовательный потенциал и др. В исследованиях, выполненных американскими учёными, было установлено, что в развитых странах основными социально-экономическими причинами, препятствующими продвижению ТЗ в производство, являются дополнительные затраты (45%), недостаточное осознание экономического эффекта (25%), сложность адаптации применяемых технологий к ТЗ (16%) и недостаток профессионализма (14%) [6]. Следует остановиться более подробно на возможных препятствиях для развития точного земледелия в России.

Анализируя приведенные выше проблемы и нерешенные задачи, сдерживающие развитие точного земледелия в мире, следует отметить, что в целом они характерны и для России. Однако в развитых странах уже создан приемлемый на сегодняшний день технический и информационный задел, который отсутствует в отечественном сельском хозяйстве. Как показывает опыт данных стран, достигнутое ими научно-технологическое превосходство является лишь необходимым условием, но оно далеко не достаточно для продвижения новых технологий в больших масштабах. В значительной мере недостаточная экономическая отдача от дорогостоящей материально-технической базы ТЗ на Западе связана, по-видимому, с

несовершенством теории и практики применения новых методов управления производством растениеводческой продукции. Недостаточно изучено и формализовано влияние структуры и режимов агроландшафтов на состояние почвенно-растительных комплексов на сельскохозяйственных полях. Положение усугубляется также тем, что усилия зарубежных ученых и инженеров вначале были направлены лишь на разработку сельскохозяйственных машин и орудий, позволяющих дифференцированно выполнять технологические операции, а вопросы оптимизации, выбора и обоснования норм технологического воздействия при этом решались пользователем самостоятельно. Такой подход привел к появлению многочисленных разноплановых предложений от фирм-изготовителей по оснащению конкретных хозяйств программно-аппаратными средствами сбора и обработки актуальных данных, что в конечном счете не обеспечило эффективного управления производством. Причина заключается в том, что большинство сельскохозяйственных производителей затрудняется с принятием решения именно потому, что разноплановой информации слишком много и выбрать оптимальный вариант, интерпретируя те или иные данные, довольно трудно [5].

Отсутствие интеллектуальных систем обработки разнородных данных и знаний, выработки и поддержки реализации агротехнологических решений, надежных измерительных и вычислительных комплексов информационного обеспечения (включая отсутствие недорогих методов распознавания и выделения с помощью ГЛОНАСС границ пространственной и временной неоднородности посевов и среды их обитания) является одной из основных причин, сдерживающих развитие точного сельского хозяйства в России и за рубежом. Научно-технический потенциал российской аграрной науки, значительные возможности оборонно-промышленного комплекса и необходимость диверсификации выпускаемой им продукции позволяют при соответствующем уровне координации и управления создать в разумные сроки отечественный физико-технический и программно-аппаратный базис точного сельского хозяйства. Естественно, для этого потребуются существенные совместные усилия государства, бизнеса и науки.

Наряду с разработкой и созданием отечественного физико-технического и программно-аппаратного базиса точного сельского хозяйства ключевым моментом является кадровый вопрос. Риск нехватки профессиональных специалистов весьма высок. Определенный дефицит инженеров, конструкторов и разработчиков высокотехнологичных приборов и оборудования уже ощущается в России. Меры, предпринимаемые Минобрнауки РФ для решения данной проблемы, пока являются недостаточными. Усилия руководителей аграрного образования также необходимо совершенствовать, поскольку отсутствие надлежащего образования и необходимых знаний у производителей сельскохозяйственной продукции является существенным препятствием для широкого применения информационной технологии точного земледелия. Создаваемые в настоящее время компьютерные системы поддержки принятия решений в значительной степени ускорят внедрение ТЗ, но специальная подготовка все же будет необходима. Также необходимы консультанты по точному земледелию высокой квалификации, которые должны объяснять, давать агрономические рекомендации, проводить и анализировать текущие эксперименты с привязкой к сети государственных служб мониторинга почвенных и климатических условий, что в конечном итоге будет способствовать использованию потенциала ТЗ.

Сельскохозяйственным производителям необходимы знания, главным образом, основных концептуальных понятий и сущности методологии ТЗ, технического обеспечения и интерфейсов оборудования. В настоящее время круг исследователей и дипломированных специалистов в данной области является достаточно узким.

Поэтому необходима специальная государственная программа по подготовке специалистов и исследователей в области точного земледелия. Структура и цели реализации такой программы должны обеспечивать развитие будущих исследований по ТЗ и непрерывную дифференцированную подготовку специалистов и руководителей, способных на практике применять возможности новой технологии. Для достижения данной цели реализация государственной образовательной программы должна предусматривать следующее:

- практическое освоение технологии точного земледелия на уровне конкретного хозяйства как для сбора информации о посевах, так и для реализации дифференцированных воздействий;

- повсеместное увеличение информированности о технологиях точного земледелия посредством демонстраций их возможностей на сельскохозяйственных полях и через средства массовой информации, включая сравнение текущей ситуации в сельском хозяйстве с той, которая станет возможной с применением технологии ТЗ;

- организация программ обучения по ТЗ для производителей, демонстрация конкретных полей (хозяйств), где указанная технология уже внедрена, и оказание помощи в освоении информационных технологий ТЗ;

- целенаправленная подготовка программистов по обучению, внедрению и развитию технологии точного земледелия в специализированных сельскохозяйственных учебных заведениях и НИИ всех уровней;

- расширение и углубление взаимоотношений между исследователями, агрономами, руководителями хозяйств и производителями сельскохозяйственных машин, оборудования и программно-аппаратных средств для ускоренного освоения инноваций в конкретных условиях и повышения уровня информационного обмена в различных секторах, обеспечивающих в конечном итоге развитие ТЗ в целом.

Заключение

Для выполнения стоящих перед нашим государством задач обеспечения продовольственной безопасности и независимости России необходим переход АПК на новый технологический уклад, где технологии точного земледелия должны стать нормой для любого сельскохозяйственного предприятия. Россия по своим почвенно-климатическим условиям по некоторым оценкам способна кормить порядка 900 миллионов человек и быть лидером на мировом продовольственном рынке! Это позволит диверсифицировать экспортную выручку и получать основную прибыль не только от ресурсодобывающих отраслей, но также от сельского хозяйства. Такой рывок невозможно осуществить без собственных, отечественных продуктов и сервисов для точного земледелия (которые сами по себе также могут быть экспортно-ориентированным товаром). Мы надеемся, что понимание важности этого направления есть у руководства страны, у исследователей и производителей, что должно привести к увеличению финансирования НИР и ОКР. Это продиктовано в том числе новой холодной войной и возможным ограничением (или даже прекращением) поставок техники и оборудования для точного земледелия.

Литература

1. *Robert P.C.* Precision agriculture: research needs and status in the USA // Precision Agriculture: Proceedings of the Second European Conference / Ed. By J.V. Stafford. Part I. UK: Sheffield Academic Press, 1999. P. 19-33.
2. Воспоминания об А.Ф. Иоффе: - Л.: Наука, 1973.
3. *Якушев В.П.* На пути к точному земледелию. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002.
4. *Якушев В.П., Якушев В.В.* Информационное обеспечение точного земледелия. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007.

5. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) / Под общ. ред. Д. Шпаара, А. Захаренко, В. Якушева. СПб. – Пушкин, 2009.
6. *Якушев В.В.* Точное земледелие: теория и практика. СПб.: АФИ, 2016.
7. *Часовских С.В., Телал Б.А., Якушев В.В.* Специализированное программное обеспечение по реализации систем точного земледелия // Материалы научной сессии Агрофизического НИИ. 2013. С. 16–32.
8. *Буре В.М.* Методология и программно-математический инструментарий информационного обеспечения точного земледелия. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. СПб.: АФИ, 2009.
9. *Топаж А.Г.* Принцип оптимальности в математических моделях агроэкосистем. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. СПб.: АФИ, 2009.
10. *Ананьев И.П.* Автогенераторные измерительные преобразователи двухкомпонентной диэлькометрии сельскохозяйственных материалов. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. СПб.: АФИ, 2009.
11. *Конашенков А.А.* Научное обоснование систем удобрения для прецизионного применения в условиях Северо-Запада России. Автореф. дисс. на соискание степени д-ра с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2014.
12. *Якушев В.В.* Информационно-технологические основы прецизионного производства растениеводческой продукции. Автореф. дисс. на соискание степени д-ра с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2013.
13. *Лекомцев П.В.* Научно-методическое обеспечение управления производственным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия. Автореф. дисс. на соискание степени д-ра биол. наук. СПб.: АФИ, 2015.
14. *Петрушин А.Ф.* Комплекс программ формирования и обработки баз данных и знаний в агрономии. Автореф. дисс. на соискание степени канд. техн. наук. СПб.: АФИ, 2005.
15. *Матвеев Д.А.* Дифференцированное внесение азотных удобрений на основе оценки оптических характеристик посевов яровой пшеницы. Автореф. дисс. ... степени канд. с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2012.
16. *Конов А.В.* Автоматизация применения и методика совершенствования способов определения доз удобрений в системе точного земледелия. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2014.
17. *Якушева О.И.* Влияние внутривидовой почвенной неоднородности и уровня интенсификации агротехнологий на урожайность яровой пшеницы. Автореф. дисс. на соискание степени канд. с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2013.
18. *Захарян Ю.Г.* Оценка эффективности адаптации агротехнологических решений к пространственно-временной неоднородности сельскохозяйственных земель. Автореф. дисс. на соискание степени д-ра с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2018.
19. *Кирюшин В.И., Иванов А.Л. и др.* Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005.
20. *Кирюшин В.И.* Точные агротехнологии как высшая форма интенсификации адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. 2004. № 6. С. 16–21.
21. *Лачуга Ю.Ф.* Точное земледелие и животноводство – генеральное направление развития сельскохозяйственного производства в XXI веке // Материалы 3-й научно-практической конференции «Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства». М.: ВИМ, 2005. С. 8–11.
22. *Якушев В.П. и др.* Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы. Агрофизика, 2017, №1. С. 51–65.
23. *Якушев В.В.* Интеллектуальные системы управления для ресурсосберегающих технологий точного земледелия. Экологические системы и приборы, 2010, №7. С. 26–33.
24. *Якушев В.П., Якушев В.В., Конов А.В. и др.* О совершенствовании реализации агротехнологических решений в точном земледелии. Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2018, №1, с. 13–17
25. *Якушев В.П., Лекомцев П.В., Воробьев В.В.* Дифференцированное применение средств химизации при выращивании яровой пшеницы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки, 2017, № 4, с. 13–17

26. Митрофанова О.А., Буре В.М., Канаиш Е.В. Математический модуль для автоматизации колориметрического метода оценки обеспеченности растений азотом. Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления, 2016, № 1, с. 85-91

27. Буре В.М., Митрофанов Е.П., Митрофанова О.А. и др. Выделение однородных зон сельскохозяйственного поля для закладки опытов с помощью беспилотного летательного аппарата. Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления, 2018, Т.14, № 2, с. 145-150

28. Якушев В.П., Якушев В.В. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России. Вестник РАН, 2018, №9, Т. 88, с. 773-784

С.Н. Волков¹, В.Н. Хлыстун²

Современное состояние земельных отношений в АПК Российской Федерации и научное обоснование их регулирования методами землеустройства

Одной из важнейших задач человечества в XXI веке является сохранение и рациональное использование природных ресурсов, главным из которых является земля. Это обусловлено тем, что ежегодный прирост населения в мире достигает 90 млн. человек, а площадь обрабатываемых земель за счет их изъятия для развития городов, промышленных, транспортных, энергетических и других целей ежегодно сокращается на 5-7 млн. га. Истощаются недра. Большие площади продуктивных земель выбывают из сельскохозяйственного оборота вследствие неостанавливающихся процессов опустынивания территорий, деградации, захламления, заражения земель. А объемы ежегодного вовлечения в сельскохозяйственное производство пахотно-пригодных земель (2-3 млн. га) и мелиорации угодий постепенно ограничиваются постоянно уменьшающимися резервами земель, пригодных для освоения.

В этой связи новые технологии производства сельскохозяйственной продукции, методы и модели рационального землепользования, защиты земель от эрозии, дефляции, деградации, снижения землеемкости развивающихся отраслей производства, находятся под пристальным вниманием ученых, государственных деятелей и всего общества.

Научно обоснованное регулирование земельных отношений особенно важно в аграрном секторе Российской Федерации, так как в любой стране мира сельское хозяйство является двигателем экономического развития, поддержания национальных, исторических и культурных традиций народа, сложившегося веками уклада жизни и сохранения территориальной целостности государства.

Результатом регулирования земельных отношений, их материализацией являются соответствующие формы организации территорий, типы землеустройства и землепользования, системы ведения сельского хозяйства, границы, местоположение и площади земельных участков. Поэтому вопросы регулирования земельных отношений нельзя рассматривать в отрыве от форм и методов землеустройства, как основного механизма реализации земельной политики государства.

¹ Ректор Государственного университета по землеустройству, академик РАН

² Государственный университет по землеустройству, академик РАН

Как показывает сложившаяся ситуация, начатая в 1990 году земельная реформа так и не была завершена. Тем не менее, земельные преобразования позволили создать основы нового земельного строя. Осуществлено разгосударствление земель и их приватизация, проведено перераспределение земель в пользу граждан, созданы объективные условия для гражданского оборота земель, сформирован слой крестьянских (фермерских) хозяйств, введено платное землепользование, проведена передача земель в границах сельских населенных пунктов в ведение местных органов самоуправления, сформированы фонды перераспределения земель и т.д. ([1], с. 72-86).

Вместе с тем, анализ сложившейся ситуации в области землепользования и землеустройства указывает на наличие значительных проблем, без решения которых сохранить земельные ресурсы страны и вовлечь их в активный экономический оборот невозможно. К наиболее важным из них относятся следующие.

1. Отсутствие внятной земельной политики государства и потеря органами государственной власти функции управления земельными ресурсами на федеральном, региональном и муниципальном уровнях, вследствие фактической ликвидации в 2001 году единого органа по управлению земельными ресурсами (Государственного комитета Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству) и распределением его функций между различными федеральными органами.

В ходе административной реформы органов государственной власти за 1991-2018 годы и, в особенности, после 2004 года, постоянно менялись министерства и ведомства, отвечающие за отдельные части управления земельными ресурсами государства, их полномочия и функции. Естественно, что их руководителям было не до построения системы управления земельными ресурсами, не до организации научных исследований. Так, например, за этот период федеральный орган, занимающийся вопросами кадастровой и землеустроительной деятельности, преобразовывался 16 раз. В 2004 году, с момента создания Роснедвижимости, функция управления земельными ресурсами из государственного поля зрения исчезла вообще. Она была рассредоточена между 6 федеральными министерствами, 8 федеральными агентствами и двумя федеральными службами (всего 16 министерств и ведомств). В 2018 году землями страны, в той или иной степени, занимались уже 7 министерств, 4 агентства и 3 федеральные службы, всего – 14 министерств и ведомств ([2], с. 24).

Естественно, что отвечать за земельные реформы, координировать земельные преобразования или организовывать рациональное использование всего земельного фонда страны стало крайне затруднительно. В этой связи:

– государство должно установить четкую земельную политику, так как принятые *«Основы государственной политики использования земельного фонда Российской Федерации на 2012-2020 годы»*, утвержденные распоряжением Правительства Российской Федерации в редакции от 28.08.2014 № 1652-р, не решили всех поставленных задач и не профинансированы в достаточной степени по мероприятиям, требующим финансовых затрат. Не определяет суть государственной земельной политики и принятый в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.11.2018 № 2413-р *«План мероприятий по совершенствованию правового регулирования земельных отношений»*, в котором приведен лишь перечень подлежащих разработке законопроектов и других нормативных правовых актов;

– органы власти всех уровней должны вернуть функцию планирования рационального использования и охраны земель без чего трудно эффективно использовать имеющиеся ресурсы и устанавливать размеры и структуру инвестиций на осуществление землеустроительных мероприятий;

– следует создать единый орган управления земельными ресурсами страны, наделив его функциями законодательной инициативы, информационного обеспечения и экономического стимулирования земельных преобразований, учета, прогнозирования, планирования, организации и контроля за использованием всех земель страны.

2. Пробелы современного законодательства. За период с 1990 года по 2000 год в области регулирования землепользования в Российской Федерации на федеральном уровне было принято 32 закона, 52 Указа Президента Российской Федерации, 180 Постановлений Правительства, 2422 нормативных правовых акта Госкомзема. Однако, такая законодательная деятельность не дала ощутимых результатов, прежде всего, потому, что в связи с отсутствием Земельного кодекса и ряда других ключевых законов в земельном законодательстве оставалось больше белых пятен, чем ясности.

В последующие 10 лет, с принятием ключевых законов страны: Земельного кодекса Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ, «О землеустройстве» от 18.06.2001 № 78-ФЗ, «О разграничении государственной собственности на землю» от 17.07.2001 № 101-ФЗ, «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» от 24.07.2002 № 101-ФЗ, «О государственном земельном кадастре» от 02.01.2000 № 28-ФЗ, «О государственном кадастре недвижимости» от 24.07.2007 № 221-ФЗ, «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую» от 21.12.2004 № 172-ФЗ законодательное поле в области регулирования земельных отношений в АПК стало приводиться в порядок. Однако, и до сих пор оно имеет существенные недостатки.

Общее число федеральных законодательных актов, регулирующих земельные отношения, превысило две тысячи, а региональное – 20 тысяч. При этом только действия с земельными участками затрагивают 648 федеральных законов.

Об отсутствии надлежащей земельной политики и запутанности в земельных делах говорят и постоянные изменения, происходящие в земельном законодательстве. Так, Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ с 2001 по июль 2019 года изменялся 126 раз; в Федеральный закон от 18.06.2001 № 78-ФЗ «О землеустройстве» за тот же период поправки вносились 9 раз, в Федеральный закон от 24.07.2007 № 221-ФЗ «О государственном кадастре недвижимости» – 52 раза. Более того, ранее кадастровая деятельность регулировалась Федеральным законом от 02.01.2000 № 28-ФЗ «О государственном земельном кадастре», затем Федеральным законом от 24.07.2007 № 221-ФЗ «О государственном кадастре недвижимости», а после этого Федеральным законом от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» и Федеральным законом «О кадастровой деятельности» (с изменениями на 01.07.2019 г.).

Таким образом, масштабная перестройка только кадастровой деятельности в нашей стране за последние годы осуществлялась три раза, в то время как кадастр, например, в ряде европейских стран (Швеции, Великобритании, Франции, Германии и др.) стабилен веками.

Современное земельное законодательство развивается не на научной основе, а методом «проб и ошибок», без учета знаний и опыта специалистов, приводя, зачастую, к нежелательным изменениям в землевладении и землепользовании.

Так, исключение из Федерального закона от 18.06.2001 № 78-ФЗ понятия и видов работ по территориальному (межхозяйственному) землеустройству привело к катастрофическому увеличению недостатков и неразберихе в землевладении и землепользовании, возникновению чересполосицы, дальнотельности, вклиниваний и вкрапливаний, обезличке в использовании земли.

Выхолащивание основных положений по управлению земельными ресурсами из Федерального закона «О землеустройстве» и длительная задержка в появлении новой редакции этого нормативного правового акта не способствует улучшению ситуации в области сельскохозяйственного землевладения и землепользования. Все это требует разработки научной концепции упорядочения и дальнейшего развития земельного законодательства, его структуризации и оптимизации в самое ближайшее время.

3. Проблемы формирования, учета и использования земельной собственности в АПК страны можно свести к следующим.

Собственность в Российской Федерации полностью не разграничена, что не позволяет однозначно определить объекты и границы управления земельными ресурсами на государственном и муниципальном уровнях. Так, меньше половины муниципалитетов и седьмая часть сельских населенных пунктов определили границы своих территорий и только один из каждых **15** субъектов Российской Федерации полностью отграничился от соседей и решил пограничные споры ([3], с. 38).

Большая часть земельных участков сельскохозяйственного назначения (в зависимости от региона от 40 до 85 %), а также соответствующие ограничения, обременения (сервитуты) не зарегистрированы, границы, площади и местоположение участков не определены, что не позволяет их однозначно идентифицировать, организовать и проконтролировать использование. Поэтому законная реализация прав земельной собственности возможна только на четверти территории земель сельскохозяйственного назначения, что требует проведения межевания.

Такая ситуация не дает также возможности составить *точный баланс земель сельскохозяйственного назначения*, что не позволяет квалифицированно принимать решения в области управления земельными ресурсами.

С 1990-х годов *перестала осуществляться качественная оценка продуктивных земель сельскохозяйственного назначения*. С этого времени свернуты почвенные и геоботанические обследования и изыскания. Перестала выполняться комплексная внутрихозяйственная оценка земель по плодородию, местоположению и технологическим свойствам земельных участков. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения базируется на сведениях 1967–1987 гг., что делает ее данные неактуальными. *В этой связи невозможно точно знать состав земель сельскохозяйственного назначения не только по формам собственности, но и по угодьям, степени проявления процессов деградации (водной эрозии, дефляции, засолению, культуртехническому состоянию). Требуют также обновления материалы проведенного в 1980-е годы природно-сельскохозяйственного районирования территории страны, которые должны использоваться в последующем для планирования развития, размещения и специализации сельскохозяйственного производства.*

В АПК появились землевладельцы и землепользователи, сконцентрировавшие у себя огромные площади сельскохозяйственных угодий, используемые на различном праве, включая бесхозные и неоформленные земельные участки. Так, по данным консалтинговой фирмы BEFL, в 2017 году 55 крупнейших компаний имели 12,6 млн. га, а 5 самых крупных из них обладали площадью 3,2 млн. га, в том числе: Продимекс и Агрокультура – 790 тыс. га; Мираторг – 676 тыс. га; Русагро – 675 тыс. га; Агрокомплекс им. Н.И. Ткачева – 644 тыс. га; Волго – Дон Агроинвест – 452 тыс. га [4].

Сверхкрупные землевладения продолжают быстро расти. За последний год площадь земли у Мираторга выросла на 82 тыс. га, у Агрокомплекса – на 188 тыс. га, Русагро – на 81 тыс. га. Понимая опасности роста латифундий, все развитые страны

мира осуществляют жесткое противодействие развитию этих процессов. В нашей стране пока, напротив, государство содействует этому росту, предоставляя крупнейшим агрохолдингам львиную долю государственных субсидий на развитие агробизнеса.

Ряд агрохолдингов создали свои земельные компании, которые за бесценок, часто под давлением, лишают земельной собственности фермеров, представителей малого бизнеса, переоформляют собственность на земельные доли в свою пользу и др.

С целью упорядочения отношений земельной собственности в АПК необходимо осуществить следующие мероприятия:

– *провести инвентаризацию земель сельскохозяйственного назначения по формам собственности, категориям, угодьям, признакам неиспользования и др., включив эти данные в материалы соответствующих государственных информационных систем;*

– *перейти от заявительного принципа кадастрового учета и регистрации прав, который приводит не к сплошному, а к точечному отображению объектов недвижимости на кадастровых картах, сначала к комплексному кадастровому учету, а затем и к комплексному землеустройству административно-территориальных образований;*

– *разграничить земли сельскохозяйственного назначения с землями лесного фонда, водного фонда, с территориями и зонами охраны объектов культурного наследия в порядке землеустройства, внести в ГКН полный перечень сведений о водоохраных зонах, прибрежных защитных и береговых полосах, зонах затопления и подтопления, других территориях с особыми условиями (режимами) использования;*

– *восстановить проектно-сметное дело в землеустройстве и разработать проекты землеустройства на все затронутые перераспределением земель территории; провести внутрихозяйственное землеустройство для эффективной территориальной привязки бизнес-планов развития сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств;*

– *принять меры по повышению качества кадастровых данных путем верификации и гармонизации сведений этих информационных ресурсов, выявления и исправления технических ошибок, приведения к эталонному виду кадастровых номеров объектов недвижимости, актуализации информации о предприятиях как имущественных комплексах и др.;*

– *улучшить качество информационных ресурсов Минсельхоза России, усилить межведомственный электронный обмен данными Росреестра и Минсельхоза России.*

4. Главная роль в системе управления земельными ресурсами принадлежит кадровому обеспечению. Одной из проблем в этой сфере является необоснованное сокращение аспирантуры по научному профилю «Землеустройство», относящемуся к экономическим специальностям. В рамках общей тенденции сокращения подготовки кадров по экономике в разы сократили и подготовку научных сотрудников по землеустройству, которые на самом деле очень востребованы как в учебных, так и в научных и производственных организациях. Факультеты и кафедры землеустройства и кадастров сегодня функционируют в 105 вузах страны, однако возможности подготовки для них высококвалифицированных специалистов ограничены. Это же относится и к множеству научных организаций, ведущих исследования в этой сфере.

Важнейшим фактором повышения эффективности управления земельными ресурсами и регулирования земельных отношений должно стать его научное обеспечение. Полагаем, что наиболее актуальными направлениями исследований должны стать следующие.

1. Разработка методологии и современных методов регулирования земельных отношений в АПК, обеспечивающих развитие и конкурентоспособность различных форм хозяйствования, землевладения и землепользования. В рамках этого исследования, прежде всего, надо дать обоснованный ответ на вопрос: следует ли продолжить приватизацию сельскохозяйственных земель и каким должно быть оптимальное соотношение земель, находящихся в государственной, муниципальной и частной собственности? В настоящее время в государственной и муниципальной собственности остается две трети земель, большая часть из которых не разграничена, не поставлена на кадастровый учет и не прошла регистрацию. Любые сделки с ней не являются легитимными. Именно эта часть земель используется неэффективно, поэтому государство должно выработать определенную позицию, основу которой будут составлять результаты исследований по различным вариантам развития отношений собственности. Необходимо также установить оптимальное соотношение собственности и аренды земли при ведении агробизнеса.

Требует ответа и вопрос о судьбе земельных долей. Этот институт был введен в начале преобразований как инструмент уравнительной и справедливой приватизации земель. По замыслу разработчиков реформы, он должен был выполнить свою распределительную роль в течение трех лет, полностью себя исчерпав. Однако прошла уже четверть века, а земельные доли сохраняются, затрудняя формирование устойчивого и эффективного землевладения.

Особой темой является выработка позиций, определяющих отношение государства и общества к росту сверхкрупных землевладений (латифундий). Очевидно, что их рост должен быть остановлен. Нужно разработать и реализовать механизм, который позволит сделать это, не разрушая крупный агробизнес и создавая условия, обеспечивающие конкурентоспособность среднего и малого предпринимательства на селе.

2. Разработка современной методологии стратегического прогнозирования и планирования рационального использования и охраны земельных ресурсов. Отказ от преобладавшей длительное время позиции об отмирании государственного регулирования развития экономики объективно порождает необходимость восстановления на новой институциональной основе прогнозирования и перспективного планирования, в том числе и в земельной сфере. Однако, восстановить практику советского периода невозможно, поэтому науке необходимо дать ответы на ряд вопросов, определяющих содержание и организацию прогнозирования и планирования использования земель в современных условиях.

3. Формирование системы информационного обеспечения управления земельными ресурсами. Если объективно оценивать современное состояние информации о главном национальном богатстве страны – ее земельном фонде (полнота, достоверность, актуальность и др.), то нужно признать ее абсолютную неадекватность потребностям управления экономикой. Достаточно сравнить данные различных министерств и ведомств (Росреестра, Росстата, Минсельхоза, Минприроды и других), чтобы увидеть огромные расхождения в данных о составе земель и динамике изменений земельного фонда. Если при этом учесть отсутствие современного планово-картографического материала и качественных характеристик земельных участков, то станет совершенно очевидной необходимость системного решения данной проблемы ([5], с. 13-17).

4. Научное обоснование и разработка комплекса мер по развитию цивилизованного рынка сельскохозяйственных земель и его инфраструктуры. Весьма проблемными остаются закрытость земельного рынка, слабость инфраструктуры, нелегитимность огромного числа сделок, высокий уровень коррумпированности структур, связанных с его функционированием. Содержание исследований по этой проблеме должно быть

связано с установлением направлений совершенствования оборота земельных участков сельскохозяйственного назначения, определением механизмов развития инфраструктуры и повышения информационной открытости земельного рынка.

5. Создание цифровых моделей оптимального распределения и организации использования земельных ресурсов на всех уровнях (Российская Федерация, субъекты Российской Федерации, муниципальные образования). Развитие цифровой экономики – это абсолютная необходимость, определяющая конкурентоспособность любой отрасли, включая АПК. Спонтанные процессы распределения и перераспределения земель, базирующиеся лишь на политической воле и административных представлениях, приводят к значительным перекосам в межотраслевом перераспределении земель, в пространственной организации экономики, в межтерриториальной специализации АПК. Альтернативы цифровым технологиям пространственной организации экономики в современном мире просто не существует. В рамках этого исследования на основе системного подхода необходимо определить механизмы создания геопропространственной информации, состав и очередность разработки моделей, организацию разработок и их внедрения, содержание землеустроительного обеспечения этого процесса.

В решении задачи цифровизации экономики следует отметить главнейшую роль цифрового землеустройства. Мировая и отечественная практика говорит о том, что землеустройство было, есть и остается в перспективе основным институтом организации рационального использования и охраны земельных ресурсов страны. Однако, современное землеустройство не может быть законсервировано на уровне технологий прошлого века. Оно должно стать иным и по набору решаемых задач, и по технологиям их решения. В первую очередь, землеустройство должно быть ориентировано на реализацию актуальных социально-экономических установок, использование новейших технических и программных средств, перспективных методов и инструментов, в числе которых на первое место должно быть выдвинуто экономико-математическое моделирование, обеспечивающее не только рациональную организацию территории, но и внедрение автоматизированных технологий землеустроительного проектирования и производства сельхозпродукции.

Первые шаги в этом направлении уже делаются. В частности, в Государственном университете по землеустройству разработаны научные подходы и программные комплексы решения этой задачи. Тем не менее, для успешного продвижения разработок необходимы крупные исследования, результатом которых должен стать набор технологий, методов и стандартов организации территории на основе цифровых моделей и методов ([6], с. 161-170).

6. Разработка современной методологии, методов и технологий охраны и воспроизводства плодородия сельскохозяйственных земель. Темпы их деградации во многих регионах страны становятся критическими. Для юго-востока – это нарастание процессов опустынивания, для регионов Черноземья – развитие водной эрозии, для степных районов – усиление ветровой эрозии. Повсеместно происходит снижение плодородия почв, нерациональное использование мелиорированных земель. Эти процессы крайне опасны не только для сельского хозяйства, но и для всей экономики страны, однако реакция государства на эти явления очень инертна. Необходимо публично показать власти и обществу эту опасность, оценив ее полно и объективно и предложив меры по предотвращению развития этих негативных явлений. Новых подходов требует классификация факторов деградации земель, разработка современных технологий ее предотвращения и устранения последствий, определение инструментов стимулирования сельхозпроизводителей и структур управления АПК к активному противодействию процессам разрушения земельного потенциала.

7. *Обоснование перспективных направлений мониторинга земель сельскохозяйственного назначения на основе дистанционного зондирования и «ГИС»-технологий.* Современные технические возможности и российский потенциал космических исследований позволяют вести в режиме on-line постоянное слежение за состоянием земельных ресурсов страны. Некоторые положительные усилия Минсельхоза России по восстановлению и развитию мониторинга земель недостаточны и не имеют должного научного обоснования. Между тем, потребность в мониторинговой информации огромна, а для ее удовлетворения необходима современная база знаний.

В процессе исследований по этому направлению необходимо уточнить научную концепцию развития мониторинга, определить наиболее перспективные технологии получения информации и их сочетание для формирования многоцелевой модели, разработать организационную схему ведения мониторинга и предоставления его результатов заинтересованным структурам, прежде всего, органам управления земельными ресурсами.

Названные направления исследований не исчерпывают весь круг научных проблем в сфере земельных отношений, но они являются наиболее актуальными и их следует включить в программы фундаментальных и прикладных научных исследований РАН, заинтересованных министерств и ведомств.

Литература

1. *Волков С.Н.* Генеральная схема землеустройства территории Российской Федерации (содержание и методы разработки). – М.: ГУЗ, 2009. 370 с.

2. *Волков С.Н.* Современное состояние земельных отношений, землепользования и землеустройства в Российской Федерации и научное обоснование основных направлений их регулирования в АПК/ Материалы к докладу на заседании Президиума РАН 28 марта 2017 года. – М.:ГУЗ, 2017. 72 с.

3. *Волков С.Н.* Земельные отношения в АПК России и научное обоснование основных направлений их регулирования. – М.: ГУЗ, 2017. 44 с.

4. URL: <http://www.befl.ru/upload/iblock/483/438810b362f214326ff5f343d7d663ce.pdf>. – Дата обращения – 23.12.2018.

5. *Хлыстун В.Н.* Четверть века земельных преобразований: намерения и результаты. [Текст] / В.Н. Хлыстун // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2015. № 10. С. 13-17.

6. Основные направления использования земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации на перспективу. Научно-практическое пособие / Под ред. С.Н. Волкова. – М.: ГУЗ, 2018. 344 с.

А.Г. Трафимов¹

Место сельскохозяйственных организаций в реализации стратегии научно-технологического развития Российской Федерации

Введение

Основополагающим документом, определяющим Дорожную карту движения российского общества к «обеспечению устойчивого будущего нации, развитию России и определению ее положения в мире», является Стратегия научно-

¹ Главный научный сотрудник Северо-западного научно-исследовательского института экономики и организации сельского хозяйства, председатель Совета директоров ЗАО «Племзавод «Ручьи», член-корреспондент РАН

технологического развития Российской Федерации [1]. Поэтому неслучайно ряд исследователей рассматривает Стратегию, как «ключевой целеполагающий документ» системы стратегического управления экономикой страны, инструментом реализации которого должны выступать Государственные программы (Госпрограммы) [2]. Вместе с тем, по мнению некоторых авторов, в Стратегии «не указано колоссальное отставание отечественных производственных технологий», в том числе в сфере сельского хозяйства «от аналогичных зарубежных технологий» [3]. Таким образом, чётко не обозначен тот стартовый уровень, от которого должно начаться движение к долгосрочным целям, в том числе, к созданию качественно новых систем генерации и распространения всех видов энергии [4], что в свою очередь требует серьёзных преобразований в сельском хозяйстве.

Имеются и другие публикации по вопросам Стратегии, однако, в большинстве случаев речь идёт о роли науки и образовании в научно-технологическом развитии Российской Федерации [5,6 и др.], а не о системном представлении всех участников этого процесса, включая сельскохозяйственные организации. Сказанное выше, позволяет считать, что тема настоящего научного исследования является актуальной, требующей предметного рассмотрения.

Цель исследования – обоснование места, роли и возможностей сельскохозяйственных организаций в реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Задачи исследования:

- обоснование системного видения процесса реализации Стратегии научно-технологического развития;
- осуществление диагностики состояния, тенденций и возможностей сельскохозяйственных организаций в научно-технологическом развитии аграрного сектора экономики страны;
- обоснование перечня первоочередных мер в обеспечении научно-технологического развития, требующих реализации на уровне федеральных и региональных органов власти и на уровне сельскохозяйственных организаций.

Методы и материалы. Методологической основой исследования являлся системный подход. В исследовании применялись методы: графического моделирования, статистические, монографический, абстрактно-логический и др. В качестве статистической базы исследования использовались данные Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года, а также других статистических сборников Росстата.

Результаты и их обсуждение. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации предполагает замещение зарубежных технологий и технических средств более производительными и более эффективными отечественными аналогами. Для этого аналоги надо создать, затем через систему трансферта перенаправить сельскохозяйственным организациям, где должны быть кадры, способные работать с новыми технологиями. Такие кадры необходимо подготовить в образовательных организациях. Следовательно, процесс реализации Стратегии должен иметь системный характер (рис. 1).

На рис. 1, построенном исходя из содержания Стратегии, видно, что в её реализации участвует очень широкий круг исполнителей:

- специализированные научные организации;
- специализированные образовательные организации;
- специализированные организации, осуществляющие инновационную деятельность;
- иные организации, осуществляющие научную, научно-техническую и инновационную деятельность;

- организации, использующие результаты научной, научно-технической и инновационной деятельности;
- федеральные органы государственной власти;
- органы государственной власти субъектов Российской Федерации [1].

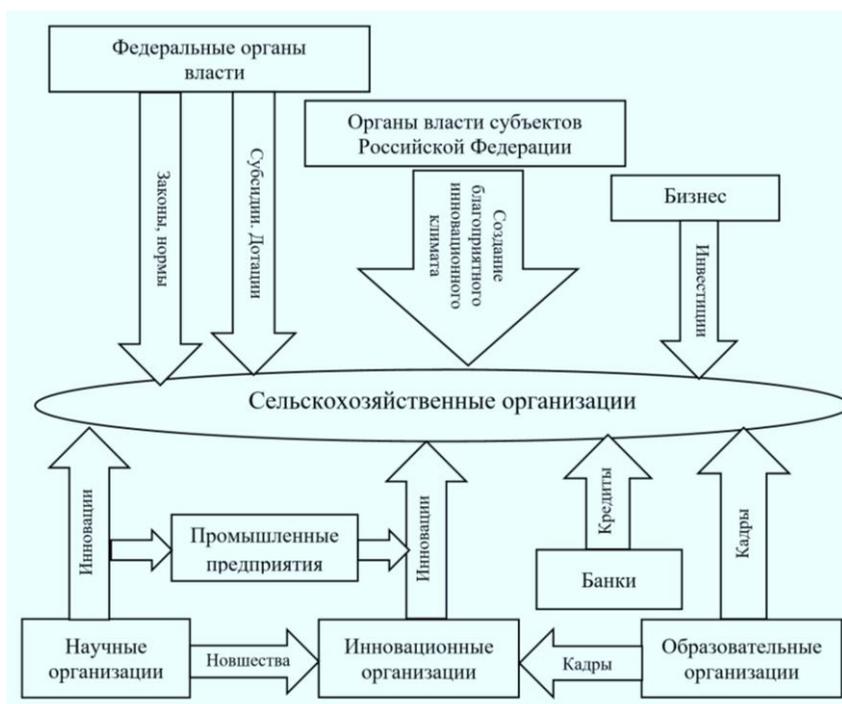


Рис.1. Место сельскохозяйственных организаций в системе реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации

Сельскохозяйственные организации в этом случае относятся к структурам, использующим результаты научной, научно-технической и инновационной деятельности.

В современных условиях сельскохозяйственные организации вынуждены конкурировать друг с другом, с другими категориями отечественных товаропроизводителей и с зарубежными фермерами. В конкурентной борьбе добиться успеха можно лишь постоянно осваивая высокоэффективные новации. Поэтому, сельскохозяйственные организации приобретают те технологические и технические новинки, которые наиболее производительны, качественны и доступны по цене. Законы рынка таковы, что чаще всего хозяйства вынуждены приобретать импортные технологии и технические средства.

Так, начиная с конца 90-х годов, в большинстве хозяйств Ленинградской области, в том числе и в ЗАО «Племзавод «Ручьи», осваивались зарубежные технологии из Голландии, Германии, Израиля, Франции, Финляндии и других государств. Именно такой подход позволил региону в целом по технологическому уровню в молочном скотоводстве выйти на лидирующие позиции в стране и максимально приблизиться к среднеевропейскому уровню (табл. 1). Кроме того, в Ленинградской области (ЗАО «Племенной завод «Ручьи») впервые в Российской Федерации внедрена технология

кормления с помощью робота, которая, как и большинство других технологий, имеет зарубежное происхождение.

Вместе с тем, в период освоения и адаптации в неё было внесено множество изменений, так что данная технология в настоящее время почти на половину имеет отечественный характер и может распространяться в Российской Федерации.

Таблица 1

Технологическая база производства в отрасли молочного скотоводства в РФ,
по состоянию на начало 2015 года, %

Регионы	Технология содержания		Технология кормления		Технология доения			
	Привязная	Беспривязная	Раздельная раздача компонентов кормов	Полнорационная кормосмесь	В вёдра	В молокопровод	В доильном зале	Роботом
Центральный ФО	69,1	30,9	36,3	63,7	17,3	46,4	36,1	0,2
Северо-Западный ФО	74,5	25,5	49,1	50,9	14,5	56,5	27,7	1,3
в т.ч. Ленинградская обл.	27,9	62,1	24,6	73,2	7,1	33,7	57,9	0,6
Южный ФО	69,0	31,0	50,6	49,4	37,1	41,8	21,2	-
Северо-Кавказский ФО	83,4	16,6	93,3	6,7	85,9	10,3	3,8	-
Приволжский ФО	71,6	28,4	41,8	58,2	32,3	50,2	17,3	0,1
Уральский ФО	59,2	40,8	48,3	51,7	3,2	77,7	18,5	0,6
Сибирский ФО	73,9	26,1	59,0	41,0	40,3	50,4	9,3	-
Дальневосточный ФО	96,2	3,8	89,7	10,3	67,2	29,0	3,3	0,5
Всего по России	72,2	27,8	50,8	49,2	32,9	47,5	19,4	0,2
<i>Справочно:</i> США	3,0	97,0	3,0	97,0	1,0	7,0	84,0	8,0
Европейский Союз	15,0	85,0	25,0	75,0	5,0	30,0	60,0	5,0

Составлено: по данным ВНИИплем, по Ленинградской области – данные автора

По данным Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года (ВСХП-2016), уровень освоения отечественными сельскохозяйственными товаропроизводителями инновационных технологий, соответствующих приоритету 7 Стратегии, является крайне низким. Так, из числа действующих сельскохозяйственных организаций (СХО) применяют биологические методы защиты растений от вредителей и болезней 7,8%, систему водоотведения и очистки производственных стоков – 7,6%, системы индивидуального кормления скота – 6,2%, систему точного вождения, дистанционного контроля качества выполнения технологических процессов – 5,4%, а возобновляемые источники энергоснабжения – всего 1,4%. Ещё ниже данные показатели совокупно у крестьянских (фермерских) хозяйств (К(Ф)Х) и индивидуальных предпринимателей (ИП), соответственно, 6%; 2,4%; 3,1%; 0,5% и 1,2%. Только 4,1% СХО, 0,9% К(Ф)Х и 0,7% индивидуальных предпринимателей имеют очистные сооружения на животноводческих фермах (табл. 2).

Кроме того, основные виды техники в сельском хозяйстве являются в значительной степени физически и морально устаревшими. Свыше половины зерноуборочных комбайнов и 68% тракторов находятся в эксплуатации 9 и более лет.

Большинство инновационных технологий для сельского хозяйства, перечисленных в таблице 2, к настоящему времени уже созданы и имеют смешанный характер: зарубежное начало, но российское содержание. Вместе с тем, их освоение сдерживается целым рядом причин: недостаточным притоком инвестиций в основной капитал, отсутствием необходимого количества квалифицированных кадров на селе, низким уровнем доступности кредитных ресурсов и бюджетных субсидий для сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Таблица 2

Удельный вес сельскохозяйственных организаций Российской Федерации, применявших инновационные технологии, по состоянию на 1.07.2016 г., %

Виды технологий	СХО	в том числе		К(Ф)Х и ИП	в том числе	
		не относящи- еся к субъектам малого предпри- мательства	малые пред- приятия		К(Ф)Х	ИП
Капельные системы орошения	3,6	4,7	3,3	2,4	2,1	3,7
Биологические методы защиты растений от вредителей и болезней	7,9	10,3	7,1	6,0	4,9	10,1
Системы индивидуального кормления скота	6,2	9,2	5,3	3,1	2,9	3,9
Метод бесклеточного содержания птицы	1,2	2,7	0,7	1,1	1,1	1,0
Очистные сооружения на животноводческих фермах	4,1	9,3	2,4	0,9	0,9	0,7
Система водоотведения и очистки производственных стоков	7,6	11,4	6,4	2,4	2,4	2,6
Возобновляемые источники энергии	1,4	1,6	1,4	1,2	1,4	0,5
в том числе солнечные батареи	0,6	0,8	0,5	0,8	0,9	0,3
Системы точного вождения и дистанционного контроля качества выполнения технологических процессов	5,4	12,3	3,3	0,5	0,6	0,2

Составлено: по данным ВСХП [7].

Инвестиции в основной капитал в сельское хозяйство за 10 лет до старта Стратегии имели позитивную тенденцию роста только в действующих ценах, отражая не столько их рост, сколько последствия инфляции (рис. 2).

В тоже время в сопоставимых ценах инвестиции не росли, а сокращались и в 2016 г. составили лишь 89% от уровня 2007 года.

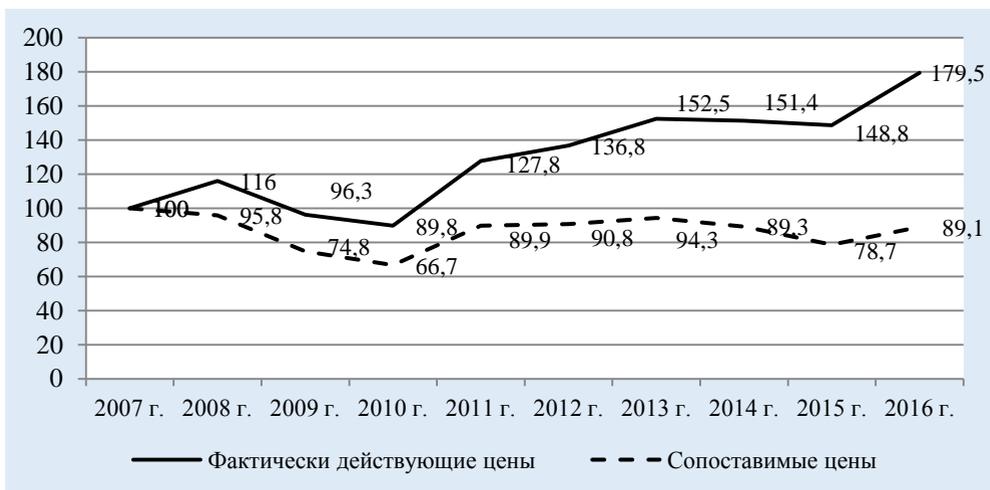


Рис. 2. Динамика инвестиций в основной капитал в сельское хозяйство, охоту и лесное хозяйство Российской Федерации в 2007-2016 гг., в % к 2007 году (разработка автора по данным [8, 9])

Доступ к кредитным ресурсам в целом по Российской Федерации, по данным ВСХП-2016, имели только 37,4% крупных и средних СХО, 11,7% К(Ф)Х и 6,9% индивидуальных предпринимателей (табл. 3).

Таблица 3

Удельный вес сельскохозяйственных товаропроизводителей, получающих кредитные средства и субсидии в 2015 г., %

Показатели	СХО		К(Ф)Х и ИП	в том числе	
	не относящиеся к субъектам малого предпринимательства	малые предприятия		К(Ф)Х	ИП
1. Кредиты, всего	37,4	20,4	10,7	11,7	6,9
в том числе на следующие цели:					
пополнение оборотных средств	25,9	19,9	4,2	4,7	2,4
приобретение земельных участков	1,0	0,6	0,3	0,3	0,2
приобретение техники, машин и оборудования	13,8	11,5	3,9	4,3	2,2
приобретение сельскохозяйственных животных	3,7	2,9	1,6	1,7	1,2
строительство новых производственных объектов	3,2	1,1	0,5	0,5	0,5
реконструкцию, модернизацию производственных объектов	2,1	1,1	0,4	0,4	0,3
другие цели	5,4	4,7	1,8	2,0	1,3
2. Бюджетные субсидии	75,6	86,0	39,2	32,6	18,5

Составлено: по данным ВСХП-2016 [7].

Основная часть кредитов использовалась на пополнение оборотных средств, а также на приобретение техники, машин и оборудования, а в региональном аспекте – более доступными кредиты были для СХО Приволжского и Центрального федеральных округов. В тоже время в Дальневосточном федеральном округе – менее 15%, Северо-Кавказском – менее 9% сельскохозяйственных организаций имели доступ к кредитным ресурсам в 2015 году. При этом крупные и средние сельхозпредприятия имели существенно лучшие показатели по всем округам (до 45,1% в Приволжском федеральном округе). Но такая статистика сформировалась в связи с сокращением численности крупных и средних предприятий. В целом по России с 2006 по 2016 год их число сократилась в 3,7 раза, а малых предприятий - выросло на 19,1% (рис. 3).

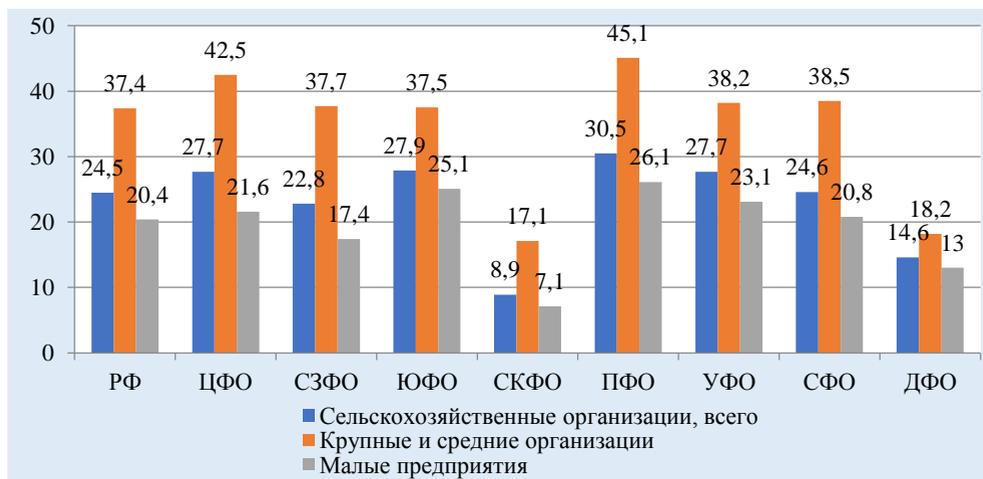


Рис. 3. Удельный вес СХО, получавших кредитные средства в 2015 г., в % от общего числа организаций соответствующей категории, осуществлявших сельскохозяйственную деятельность, по данным ВСХП – 2016 [10]

Реализация Стратегии на уровне СХО во многом зависит от качества их человеческого капитала и, прежде всего, руководителей хозяйств. К сожалению, и по данной позиции ситуация в сельскохозяйственных организациях страны не является благоприятной. В целом по России 47,5% руководителей хозяйств не имеют высшего сельскохозяйственного образования, а в таких федеральных округах, как Центральный, Северо-Западный, Северо-Кавказский и Дальневосточный – более половины (рис. 4).

При этом, если для двух последних из перечисленных федеральных округов, находящихся на окраине страны в сложных природно-экономических и демографических условиях, это может быть объяснено объективными причинами, то для Центрального и Северо-Западного округов трудно найти аргументы. На территории Центрального и Северо-Западного округов расположены 22 аграрных ВУЗа (40% их общего количества в Российской Федерации), из которых 10 имеют статус аграрных университетов.

Несколько лучше положение с образованием руководящих кадров в Приволжском, Сибирском и Южном федеральных округах. Однако и здесь должность руководителей СХО занимают, соответственно, 41,7%, 42,5%, 45,4% лица без высшего сельскохозяйственного образования.

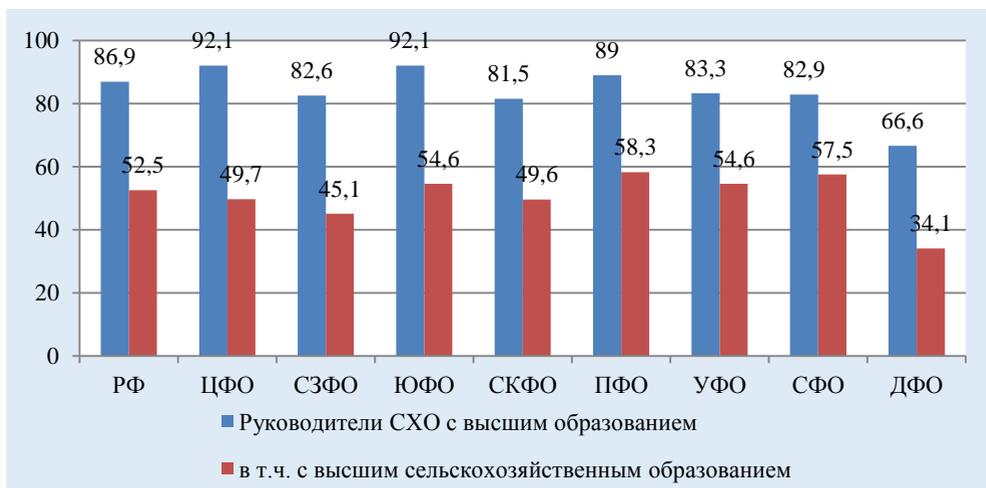


Рис. 4. Доля руководителей СХО Российской Федерации с высшим (в т.ч. сельскохозяйственным образованием), % от руководителей всех сельскохозяйственных организаций, по данным ВСХП – 2016 [11]

Сдерживающими факторами научно-технологического развития сельскохозяйственных организаций выступают неустроенность земельных отношений, отсутствие собственных сельскохозяйственных угодий, несовершенство земельного законодательства, теневой оборот земельных долей и т.п. В тоже время структура собственности на землю предопределяет воспроизводственный процесс в сельскохозяйственных организациях, что напрямую связано с процессом научно-технологического развития, а от рационального использования земельного потенциала зависят перспективы развития сельских территорий в целом [12,13].

В рамках рассматриваемой темы требуют решения проблема передачи результатов интеллектуальной деятельности разработчиков научно-технической продукции сельскохозяйственным товаропроизводителям между странами-членами ЕАЭС, которая не поддается ни мониторингу, ни количественному измерению [14]. В тоже время в рамках ЕАЭС должно быть единое экономическое и правовое межгосударственное пространство, в рамках которого и будет реализовываться Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации.

Сказанное выше, позволяет сделать вывод, что сложившаяся ситуация для основной массы хозяйств (а не только для лидеров), является не совсем благоприятной для реализации Стратегии.

В связи с этим, необходимо включить механизмы, направленные на изменение данного положения, в том числе на федеральном и региональном уровне.

1. Принимаемые на федеральном уровне законы и нормативные акты должны опираться, как это предусмотрено Федеральным законом «О развитии сельского хозяйства», на законопроекты, исходящие непосредственно от Союзов сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Складывается впечатление, что представители органов власти на федеральном уровне, по большому счёту, не знают, какая правовая основа нужна сельскому хозяйству, иначе не принимались бы законы, которые идут во вред, а не на пользу его развития.

2. Система федерального субсидирования и нормативно-правовое обеспечение должны быть строго ориентированы на технологическую модернизацию сельского хозяйства, формирование заинтересованности бизнеса во вложении инвестиций в инновационные проекты на селе.

3. Необходимо принять нормативно-правовые акты, ориентирующие банки с государственным участием на кредитование инновационных проектов под проценты, не превышающие уровень инфляции, то есть не более, чем 4%. Это вполне можно сделать: например, Сбербанк в 2017 году имел 748,7 млрд. рублей чистой прибыли.

4. Органы власти субъектов Федерации в пределах, имеющихся у них полномочий, должны обеспечить формирование благоприятной нормативно-правовой среды для реализации инновационных проектов по технологической модернизации сельского хозяйства.

5. От промышленных предприятий сельскохозяйственные организации ждут современную технику, не уступающую по качественным характеристикам и цене зарубежным аналогам.

6. Особо следует обратить внимание на подготовку кадров для села с высшим образованием. Необходимо восстановить в сельскохозяйственных учреждениях высшего образования подготовку специалистов (наряду с бакалаврами), в том числе с присвоением квалификации «агроном-экономист». Требуется расширить подготовку для агробизнеса по программам МВА и прекратить практику приватизации учебных хозяйств (учхозов) сельскохозяйственных ВУЗов, которых осталось всего 12 на всю Российскую Федерацию. В рамках рассматриваемой Стратегии реализовать программу «Учхозы аграрных ВУЗов России». Каждый учхоз должен быть оснащен высокотехнологичной современной техникой и оборудованием. Точно такая же программа необходима и по восстановлению опытно-производственных хозяйств (ОПХ) при сельскохозяйственных научных организациях.

Параллельно с мероприятиями на федеральном и региональном уровнях, необходимо, чтобы сельскохозяйственные организации предпринимали активные действия по освоению инноваций. Уже сейчас необходимо осваивать эффективные системы управления, формировать базу квалификации работников, адаптировать к российским условиям зарубежные технологии с целью дальнейшего тиражирования их по стране.

Прежде всего, речь идёт о системе управления издержками производства на основе бизнес-планирования, которая освоена и успешно функционирует в ЗАО «Племенной завод «Ручьи» на протяжении 20 лет. Система включает в себя формирование бюджета расходов и доходов; проведение анализа (план-факт); вскрытие причин неэффективных затрат; оперативное принятие решений по устранению причин роста издержек.

Далее, это система управления стадом на основе цифровых технологий, предусматривающая контроль веса, продуктивности и здоровья вымени, обнаружение охоты, оценка компонентов молока в прямом режиме времени, индивидуальное кормление, сортировка коров.

О формировании кадрового потенциала, адекватного предстоящим изменениям также нужно думать уже сегодня. Можно и нужно осуществлять подготовку кадров по договорам с образовательными организациями, стажировку специалистов в инновационно-активных предприятиях и за рубежом.

Необходимо также осваивать инновационные технологии, широко апробированные в сельскохозяйственных организациях России.

Наконец, следует продолжать привлекать самые передовые зарубежные технологии, даже ещё не освоенные в производстве за рубежом, затем их адаптировать

для российских условий, внося конструктивные изменения. В этом случае может получиться принципиально новый продукт, который можно тиражировать и распространять по России. В ЗАО «Племенной завод «Ручьи» такой опыт имеется. В закупленную во Франции автоматизированную систему приготовления и раздачи кормов на молочном комплексе были внесены 53 изменения, и она фактически сейчас представляет собой принципиально новый инновационный продукт.

Заключение. Таким образом, сельскохозяйственные организации в рамках Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации относятся к структурам, использующим результаты научной, научно-технической и инновационной деятельности. Успех в научно-технологическом развитии СХО зависит от совокупных действий органов власти всех уровней, научно-исследовательских, образовательных, внедренческих учреждений, промышленных предприятий, банков и бизнес-структур. Современное состояние с освоением инновационных технологий и инноваций, возможность привлечения кредитных ресурсов и субсидий, качество руководящих кадров являются сдерживающими факторами дальнейшего научно-технологического развития. В обеспечении выхода сельскохозяйственных организаций на траекторию устойчивого научно-технологического развития особая роль принадлежит органам законодательной и исполнительной власти, от эффективности действий которых зависит результативность всех остальных структур, реализующих Стратегию. Как представляется, предложенные в статье меры, которые необходимо решать с участием государства, позволят изменить ситуацию в желаемом направлении.

Литература

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации.
2. Дементьев В.В., Слободяник С.Н. Государственные программы как инструменты реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2017. Т. 15. С. 316-335.
3. Юсупов Р.М., Соколов Б.В. Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочный период // Инновации. 2016. № 7 (213). С. 30-32.
4. Иванов В.В. Проблемы научно-технологического развития России в контексте промышленной революции // Инновации. 2016. № 6 (212). С. 3-8.
5. Вариавский А. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации // Общество и экономика. 2017. №6. С. 5-27.
6. Куракова Н.Г. В качестве главного субъекта научно-технологического развития страны вновь избран учёный // Экономика науки. 2016. Т. 2. № 2. С. 151-154.
7. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т. / Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. Т. 1: Основные итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: кн. 1.: Основные итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года по Российской Федерации. – 458 с.
8. Инвестиции в России. 2009: Стат. сб. / Росстат. - М., 2009. – 323 с.
9. Инвестиции в России. 2017: Стат. сб. / Росстат. - М., 2017. – 188 с.
10. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т./Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. Т. 6: Технические средства, производственные помещения и инфраструктура. – 525 с.
11. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т./Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. Т. 2: Число объектов Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года. Трудовые ресурсы и их характеристика. – 383 с.
12. Костяев А.И., Никонова Г.Н., Трафимов А.Г., Джабраилова Б.С. Трансформация структуры собственности на землю и воспроизводственный процесс в аграрном секторе // Экономика сельского хозяйства России. 2014. № 12. С. 13-20.

13. Костяев А.И., Никонова Г.Н., Трафимов А.Г. Земельный потенциал сельских территорий: перспективы развития // Экономика сельского хозяйства России. 2015. № 11. С. 24-30.

14. Ушаев И.Г., Нечаев В.И., Бондаренко Т.Г. Развитие предпринимательства в научно-технической сфере агропромышленного комплекса стран-членов ЕАЭС // АПК: Экономика, управление. 2018. № 9. С. 66-75.

Г.А. Белозеров¹

Сохранность пищевых продуктов - научно-технологический приоритет развития АПК

Одним из приоритетов научно-технологического развития АПК является разработка и внедрение новых ресурсосберегающих технологий переработки и хранения сельскохозяйственной продукции.

Всемирной сельскохозяйственной организацией при ООН сохранность пищевых продуктов признана глобальной мировой проблемой, а их потери, составляющие в среднем 30 % от общего объема производства, – основным риском продовольственной безопасности.

Структуры потерь пищевой продукции (рис. 1) в развитых и развивающихся странах существенно отличаются. Например, в развивающихся странах из-за отсутствия необходимой инфраструктуры наблюдается повышенный уровень потерь в сельском хозяйстве, а также на стадиях переработки и хранения, но они минимальны на стадии потребления. В развитых странах при переработке и хранении потери снижены, но они возросли на этапах реализации и потребления из-за более высоких требований к качеству продукции и вследствие перепроизводства пищевой продукции.

В России по экспертным оценкам потери находятся на среднемировом уровне. На базе материалов, представленных Академией продовольственной безопасности, по балансам производства и реализации продукции обобщены значения потерь продовольствия в 2017 г. (рис. 2) на стадиях переработки и хранения.

В 2017 году произведено 295 млн тонн пищевого сельхозсырья на сумму 5,5 трлн рублей, из которого реализовано в натуральном виде 75 млн тонн, выработано 58 млн тонн продукции, образовалось 41 млн тонн вторичных ресурсов, при этом потери составили 36 млн тонн. Из 85 млн тонн сырья, оставленного производителями в хозяйствах, потери составили 14 млн тонн. Таким образом, суммарные потери продукции на стадиях хранения и переработки составили 52 млн тонн или 17 % от общего объема произведенной продукции на сумму 1,2 трлн рублей.

Эти цифры коррелируются с данными ФАО, оценивающие потери в России в объеме более 1,5 трлн рублей с учетом стадий дистрибуции и потребления.

Можно сказать, что в настоящее время в сельском хозяйстве производится продукции больше, чем ее можно эффективно переработать и сохранить. Это еще раз подтверждает сложившуюся диспропорцию в развитии сельского хозяйства и отраслей перерабатывающей промышленности, в которые недостаточно вкладывается средств по сравнению с ведущими зарубежными странами, что приводит к сырьевому экспорту продукции и неэффективному использованию природных и энергетических ресурсов. Поэтому, без упреждающего развития систем хранения сырья, а также

¹ Директор ВНИХИ – филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, член-корреспондент РАН

ресурсосберегающих технологий его переработки, дальнейшее увеличение производства сельхозпродукции не принесет ожидаемого эффекта, так как это может привести к еще большим потерям. Поэтому, оценивая суммарные масштабы финансовых потерь, задачи сохранности произведенной продукции являются одними из главных приоритетов развития АПК.

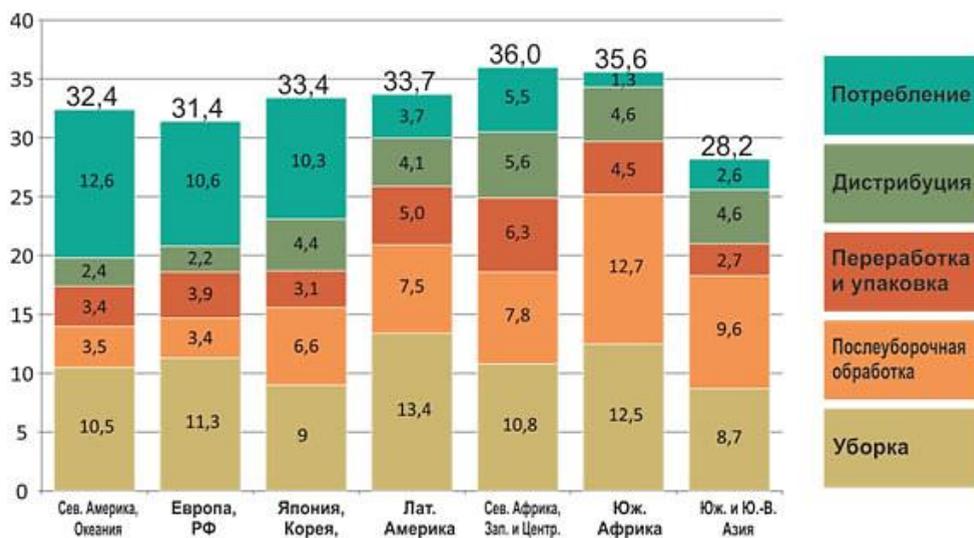


Рис. 1. Структура потерь продовольствия в регионах мира, % (ГЭВУ, 2014 г.) [1]



Рис. 2. Обобщенные значения потерь продовольствия в 2017 г.

Существенного повышения эффективности в этой области можно ожидать от создания и внедрения инновационных аграрно-пищевых технологий [2], которые должны стать привлекательными как для предприятий сельского хозяйства, так

и перерабатывающей промышленности. Аграрно-пищевые технологии должны рассматриваться как этап системного развития технической базы сельскохозяйственных и пищевых производств, обеспечивающий переход к новому технологическому укладу. Такие технологии могут быть созданы только при проведении совместных исследований в этой области учеными сельскохозяйственного профиля и учеными смежных перерабатывающих отраслей.

Вклад аграрной науки заключается, прежде всего, в создании технологий, обеспечивающих эффективное производство высококачественного, безопасного, хранимоустойчивого сырья с заданными технологическими свойствами, которые обеспечат эффективные процессы его переработки и хранения.

Основные задачи ученых перерабатывающих отраслей:

- развитие безопасных и эффективных методов послеуборочной (послеубойной) обработки сырья с применением новых электрофизических, биохимических и других перспективных способов, обеспечивающих повышение его сохранности в нативном виде;

- развитие научно-практических основ глубокой переработки сельхозсырья, в том числе вторичных ресурсов, с выделением ценных компонентов и субстанций, разработка безлюдных технологий переработки;

- создание эффективных методов сохранения сырья и готовой продукции в товаропроводящих сетях.

В современной агропромышленной индустрии технологии хранения многих продуктов базируются на различных методах консервирования и средствах воздействия в виде «барьеров» к развитию процессов, вызывающих порчу продуктов:

- создание новых биоразрушаемых упаковочных материалов и упаковок с барьерными свойствами;

- разработка технологий асептической обработки с применением безопасных биопрепаратов, микробов-антагонистов, защитных покрытий направленного воздействия, термической обработки, создание новых технологий с использованием электрофизических методов и холодильной обработки, которая останется в обозримом будущем основным доступным и безопасным способом консервирования.

С применением регулируемых температурно-влажностных условий в стране планируется хранить более 100 млн тонн продукции, при этом в настоящее время обрабатывается холодом немногим больше половины.

Эти технологии отличаются тем, что для продвижения продукции от производства до потребления требуется четко организованная межведомственная холодильная цепь, включающая сеть заготовительных, накопительных, производственных, распределительных холодильников, торгового холодильного оборудования, бытовых холодильников и связывающих эти звенья рефрижераторных транспортных средств, обеспечивающих единство температурных режимов хранения. За последние 10 лет существенно вырос парк холодильного оборудования во всех отраслях промышленности, что позволило улучшить условия хранения и транспортирования продукции.

Разработаны схемные и технические решения по холодильным установкам с утилизацией теплоты конденсации агентов, что позволяет снизить энергопотребление; разработаны технологии охлаждения, замораживания и размораживания широкой гаммы продукции; созданы эффективные способы аккумуляции и передачи аккумулярованного холода; разработаны технологии иммерсионного охлаждения пищевых продуктов с использованием хладоносителей с фазовым переходом, обеспечивающие высокие скорости отвода теплоты, которые готовы к внедрению. Вместе с тем, по-прежнему существуют проблемы:

- экологические, связанные применением в холодильной технике озоноразрушающих агентов и веществ, вызывающих парниковый эффект;
- высокая импортозависимость;
- термодинамическое несовершенство процессов отвода теплоты при холодильной обработке пищевых продуктов.

Современные тенденции развития пищевой промышленности ориентируют производителей продукции на использование сырья в охлажденном виде, имеющего увеличенные сроки годности, но с минимальным содержанием консервантов. Эти задачи будут решаться в значительной степени путем применения холодильных технологий.

Существенный прирост сроков хранения может быть обеспечен за счет понижения температур хранения продукции до криоскопических, а для сырья животного происхождения и до субкриоскопических значений. Эта температурная область (рис. 3), характеризуется резким изменением теплофизических свойств, снижением активности воды и, как следствие, существенным ростом сроков годности по сравнению с охлажденной продукцией.

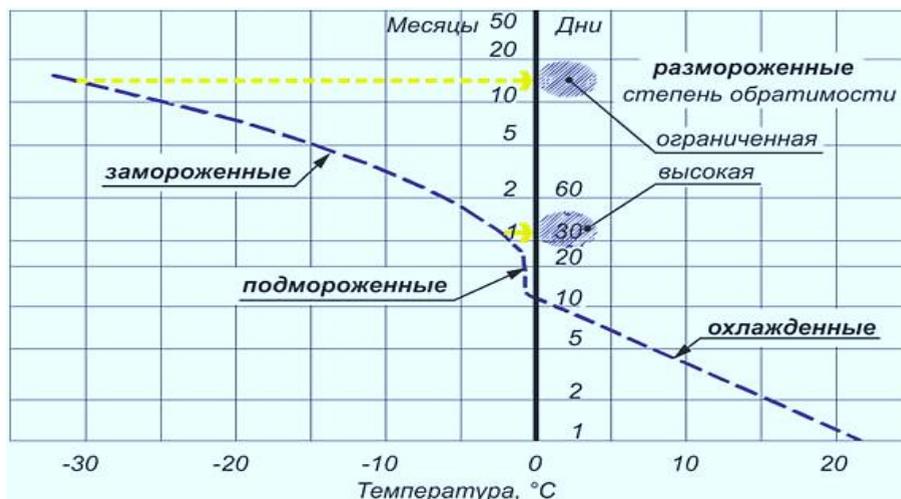


Рис.3 Влияние температуры на срок хранения сыра животного происхождения

Проведенные исследования показали, что обоснованные температурные режимы хранения при близкриоскопических температурах, позволяют увеличить сроки годности растительной продукции черной смородины в 4-5 раз, ягод садовой земляники – в 2,5-3 раза, мяса убойных животных, птицы и рыбы – в 1,6-2 раза по сравнению с традиционными режимами.

Для реализации этих технологий требуется поддержание стабильной температуры в хранилищах во всей холодильной цепи. Однако, существующая холодильная цепь, основанная на технически устаревшем оборудовании, не в состоянии реализовать эти перспективные технологии.

Поэтому среднесрочную перспективу развития холодильной цепи мы связываем с термодинамическим, гидродинамическим, электродинамическим совершенствованием процессов обработки, переработки и хранения пищевых продуктов, созданием высокоточных методов поддержания и контроля температуры в элементах холодильной цепи. Кроме того, новые технологии, в том числе холодильные, не могут

быть реализованы без новой отечественной техники, которая должна развиваться одновременно с новыми технологиями.

К сожалению, в нашей стране произошел разрыв в организации управления и финансирования фундаментальных исследований, прикладных НИОКР и освоения новой техники в производстве.

По данным Высшей школы экономики за период с 1994 г. по 2015 г. объем финансирования фундаментальных исследований увеличился в 2,6 раза, а прикладных исследований уменьшился в 2 раза. Вклад бизнеса в НИОКР тоже неуклонно сокращается с 14,8 % в 2002 г. до 9,4 % в 2015 г. Такая динамика ведет к дальнейшему усилению разрыва между стадиями исследовательского цикла и снижению востребованности бизнесом прикладных разработок. Сложилась ситуация, при которой прикладные исследования по созданию новой техники для отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности, не финансируются ни Минсельхозом, ни Минпромторгом, ни Минобрнауки. Мы сегодня практически не имеем Государственного заказчика ни на прикладные исследования, ни на оборудование для пищевой и перерабатывающей промышленности, при этом отдельные инициативные разработки не решат общей технической политики. Этот вопрос выходит за рамки научной сессии РАН, но его следует поднимать, так как без его решения трудно выполнить задачи, поставленные Президентом страны в Указе от 07.05.2018 г. по доведению к 2024 г. количества предприятий, осуществляющих технологические инновации до 50 % от общего числа.

Литературы

1. ГЭВУ, 2014 г. Продовольственные потери и пищевые отходы в контексте устойчивых продовольственных систем. Доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания Комитета по всемирной продовольственной безопасности, Рим, 2014 г., [url: www.fao.org/3/a-i3901r.pdf].

2. *Панфилов В.А.* Сложные технологические системы в развитии Агропромышленного комплекса // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 1. – С. 13-16.

В.М. Лукомец¹, С.В. Зеленцов²

Развитие методов селекции сои и льна на современном этапе

Важнейшей и одной из наиболее сложных проблем современной селекции культурных растений является их улучшение по количественным признакам. Это касается и признака продуктивности, который в большой мере связан с устойчивостью к различным биотическим и абиотическим стрессорам [1]. Для повышения устойчивости растений к таким биотическим стрессорам, как сорные растения или насекомые-вредители, в конце 90-х годов XX века были разработаны и стали активно использоваться методы генетической инженерии [15]. Созданный этими методами широкий ассортимент ГМО-сортов и гибридов был основан, преимущественно, на трансгенных вставках бактериальных генов устойчивости к гербицидам на основе глифосатов, сульфонилмочевины и глюкосинатов, а также устойчивости к отдельным группам насекомых-вредителей. Однако все попытки использовать методы

¹ Врио директора ФНЦ «ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта», академик РАН

² Заведующий отделом ФНЦ «ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта», доктор сельскохозяйственных наук

генетической модификации в селекции культурных растений на улучшение количественных признаков к заметным положительным результатам так и не привели. В связи с этим получение улучшенных и новых хозяйственно ценных признаков, особенно ещё не выявленных в мировом генофонде селективируемой культуры, остаётся сложной проблемой, заметно сдерживающей прогресс и результативность современной селекции.

В настоящее время для повышения результативности селекции на улучшение хозяйственно ценных признаков в мире всё активнее применяют молекулярно-биологические методы [9]. Но их внедрение в селекционный процесс не отменяет классические методы отбора, поскольку молекулярно-биологические методы позволяют контролировать наличие или отсутствие в геноме растения последовательностей ДНК, кодирующих хозяйственные признаки, или, в недалёкой перспективе, позволят их отредактировать с использованием технологии CRISPR. Но все остальные этапы изучения выделенного селекционного материала, включая гибридизацию и получение гибридных растений F_1 , выделение лучших особей в расщепляющихся гибридных популяциях, не только по маркированному признаку, но и по другим хозяйственно ценным признакам, а также всестороннюю многолетнюю полевую оценку лучших нерасщепляющихся линий по урожайности, вегетационному периоду, устойчивости к болезням, морфометрическим и биохимическим признакам и т.д., осуществляются классическими методами, также как это делается при селекции генетически модифицированных сортов и гибридов. Таким образом, стоящая перед практической селекцией задача дальнейшего улучшения культурных растений с использованием современных молекулярно-биологических методов, в настоящее время может реализоваться только в сочетании с обычными методами селекции.

При этом ни один из используемых при выведении новых сортов и гибридов культурных растений методов селекции нельзя считать безупречным для решения современных задач, что является основным мотивирующим фактором их улучшения и разработки новых методов. Также сохраняет практический интерес развитие методов селекционно-генетического улучшения, основанных на уже известных генетических механизмах рекомбинации и формообразования.

Для повышения результативности селекции сои и масличного льна по признакам урожайности и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам, нами проводятся научные исследования по улучшению существующих, и разработке новых небиотехнологических методов создания исходного материала и селекции [7].

Одним из таких методов, позволяющих создавать сорта с повышенной урожайностью гетерозисного уровня, передающейся по потомству на весь срок существования сорта, является метод селекции сои с использованием источников комплексов компенсационных генов, – так называемая ККГ-технология, основанная на теории закреплённого гетерозиса ак. В.А. Струнникова [13, 14].

Согласно этой теории, в генотипе – носителе полулетальной мутации, естественным или искусственным путём может накапливаться мощный компенсационный комплекс эпистатически действующих доминантных и полудоминантных генов (ККГ), нейтрализующих негативное влияние полулетальной мутации. В результате гибридизации такого генотипа с генетически неродственными формами того же вида в F_1 мутантный аллель переходит в гетерозиготное состояние и не проявляется, а одинарная, но скоординированная доза генов ККГ аддитивно влияет на весь гибридный организм, обеспечивая вспышку продуктивности и жизнеспособности, которые передаются по потомству – так называемый закреплённый гетерозис [13, 14].

Усовершенствованный нами метод селекции сои на основе ККГ-технологии включает в себя несколько этапов. На первом этапе в коллекции сои проводится поиск и выделение потенциальных источников ККГ по полулетальному фенотипу, и цитогенетически – путём выделения особей с нарушениями митоза и мейоза [10]. Все предварительно выделенные потенциальные источники ККГ включаются в скрещивания для гибридологического анализа. Если в гибридных популяциях F_2 – F_4 с участием потенциального источника ККГ встречаются особи, как с выраженным гетерозисным эффектом, так и особи с признаками полулетальности, то такая родительская форма фиксируется как подтверждённый источник ККГ (рис. 1).



Рис. 1. Выявление в гибридных популяциях F_2 – F_4 с участием ККГ-источника растений сои с эффектом «закреплённого гетерозиса»

Поскольку ККГ-комплексы могут накапливаться к различным полулетальным аллелям, то их гетерозисный эффект проявляется в изменении признаков разной степени хозяйственной ценности. Поэтому параллельно в расщепляющихся гибридных комбинациях с участием ККГ-источников идёт оценка их общей комбинационной способности (ОКС).

Лучшие ККГ-источники, в качестве родительских форм включаются в рутинные плановые скрещивания. В гибридных комбинациях F_2 – F_4 , полученных с их участием, для дальнейшей работы отбираются только особи с выраженным гетерозисным эффектом [4]. В поколении F_5 потомства отобранных ККГ-особей размножаются и включаются в обычный селекционный процесс, где проходят всестороннюю оценку по основным хозяйственно ценным признакам. Лучшие нерасщепляющиеся ККГ-линии и передаются на Госсортоиспытание в качестве ККГ-сортов. Фенотипы ККГ-сортов сои, как правило, отличаются очень мощным типом куста, высокорослостью и глубокой корневой системой, дающей заметные преимущества в засушливых условиях юга России.

В практической селекционной работе, для реализации новой, перспективной модели сорта периодически возникает потребность в ценном признаке, который крайне редок или полностью отсутствует в мировом генофонде вида. При этом применение технологии генетической модификации неприемлемо из-за крайне высокой стоимости и законодательно запрещено на территории РФ.

В качестве небиотехнологической альтернативы технологии трансгеноза, с целью создания новых признаков нами разработана теория полиплоидной рекомбинации генома (ТПР), которая моделирует один из естественных механизмов периодического сальтационного (взрывного) формирования признакового полиморфизма в центрах происхождения культурных растений [3, 8]. Основные постулаты теории ТПР следующие:

- под влиянием стрессовых условий среды в диплоидных популяциях растений периодически образуются спонтанные полиплоиды;
- у «ранних» автополиплоидов из-за нарушений кроссинговера могут происходить множественные асимметричные обмены гомологичными участками хромосом с образованием дупликаций, делеций, дефишенси и т.п. по целому ряду генов;
- структурные рекомбинации хромосом в виде изменения дозы генов могут приводить к количественным и качественным изменениям существующих, или к образованию новых признаков;
- за счёт редукции гамет или хромосом в полиплоидных популяциях образуются возвратно-диплоидные (реплоидные) формы;
- возвратные диплоиды (реплоиды) могут отличаться от исходной формы, сохраняя возникшие на полиплоидном уровне рекомбинантные признаки [3, 8].

На основе постулатов полиплоидной рекомбинации генома разработан метод селекции (ТПР-технология), позволяющий заметно расширить спектр признаков у сои и масличного льна за счёт их полиплоидной рекомбинации.

На первом этапе исходные диплоидные материнские формы с использованием колхицина переводятся на полиплоидный уровень с целью запуска процесса множественных полиплоидных рекомбинаций. Визуально рекомбинации по морфологическим признакам обычно заметны уже во втором поколении полиплоидов. Например, у сои это изменение количества листовых пластинок сложного листа; а у льна – изменение ширины и количества лепестков (табл. 1).

На втором этапе в полиплоидных популяциях по признаку восстановленной фертильности отбираются все реплоидные растения. Их потомства оцениваются в различных эколого-географических условиях, включая южные засушливые, северные холодные регионы. Для оценки степени морозоустойчивости используются подзимние посевы и криокамеры. Цель таких испытаний – выявить реплоидные рекомбинантные особи с улучшенной адаптивностью к тем или иным абиотическим стрессорам [5].

Так, в результате скрининга реплоидов в жарких засушливых условиях выделены ТПР-линии сои с высокой засухоустойчивостью. Физиологические исследования показали, что такие формы отличаются повышенной сосущей силой корней, позволяющей дополнительно использовать труднодоступную влагу в почве (рис. 2).

Скрининг реплоидных потомств при подзимних и ранневесенних посевах позволил выделить группу ТПР-линий сои, способных выдерживать в фазе всходов заморозки до минус 5°C, что позволяет их сеять на юге России на месяц раньше, получая при этом более ранние всходы [5].

За счёт более эффективного использования осенне-зимних запасов влаги в почве, такие формы формируют повышенные урожаи семян и успевают созреть до наступления позднелетних засух (рис. 3).

Частные эффекты от изменения дозы генов при структурных рекомбинациях хромосом у полиплоидов сои и масличного льна

Культура	Исходный диплоидный признак	Морфологические изменения признака при полиплоидных рекомбинациях			
Соя					
Масличный лён					

*а**б*

Рис. 2. Практический результат использования ТРП-технологии селекции сои на засухоустойчивость при оценке в острозасушливых условиях.

а – вегетирующий засухоустойчивый ТРП-сорт сои;

б – засыхающий от дефицита воды в почве обычный сорт сои



a

б

Рис. 3. Практический результат селекции сои на холодоустойчивость с использованием ТПР-технологии.

(г. Краснодар, дата посева – 28 марта, дата фотосъёмки – 5 мая).

a – обычный сорт сои; *б* – холодоустойчивый ТПР-сорт сои.

Оценка реплоидов масличного льна на фоне многолетней монокультуры и в очагах фузариозного увядания позволил впервые в мире выделить линии с полной устойчивостью ко льноутомлению и с высокой устойчивостью к фузариозу. Такие ТПР-линии льна пригодны для возделывания в короткоротационных севооборотах, что очень актуально для южных засушливых регионов России, и даже при монокультуре [5].

Оценка реплоидов льна при подзимних посевах позволила выделить формы с высокой зимостойкостью, выдерживающие зимние морозы до минус 20–23 °С, и созревающие в условиях Краснодарского края на полтора месяца раньше весенних посевов (рис. 4).

Наши исследования показали, что высокая морозоустойчивость реплоидных форм льна, равно, как и у холодоустойчивых ТПР-линий сои, обеспечивается увеличенной долей криоколлоидов в цитоплазме растений. В результате, цитоплазма ТПР-линий льна при отрицательных температурах до минус 20–23 °С не кристаллизуется, как у сортов с обычным уровнем морозоустойчивости, а застудневает, позволяя сохранять без криповреждений ядра клеток и внутриклеточные органоиды [5]. Такие зимующие сорта масличного льна также актуальны для острозасушливых регионов юга России с дефицитом осадков в летний период.

Ещё одним разработанным нами методом селекции сои является технология выделения и отбора генотипов с высокой устойчивостью к возбудителям грибных болезней, причём не к отдельным штаммам или расам, а к целым видам.

Подавляющее большинство грибов-паразитов, симбионтов и сапротрофов являются гетеротрофами, обладающими осмотротрофным способом питания, прежде всего, клеточным соком или гидролизированными тканями хозяев. Для обеспечения

своего питания патогенные грибы должны обладать более высоким осмотическим давлением клеточного сока (ОДКС), по сравнению с осмотикой клеточного сока растений, чтобы обеспечить поглощение питательных веществ из тканей хозяев всей поверхностью мицелия по осмотическому градиенту от меньшего к большему [2]. В связи с этим физиологической основой ОДКС-технологии селекции сои является блокировка питания патогенных грибов за счёт селекционно-генетического повышения осмотического давления в тканях растения-хозяина выше критического уровня ОДКС патогена [12].



Рис. 4. Практический результат селекции зимующего масличного льна с использованием ТПР-технологии (г. Краснодар, дата фотосъёмки – 28 мая)
а – посеянный 23 октября зимующий ТПР-сорт льна, фаза начала созревания;
б – посеянный 5 апреля обычный сорт льна, фаза цветения.

На первом этапе применения ОДКС-технологии устанавливается верхняя критическая граница ОДКС патогена в килоПаскалях (кПа), к которому будет создаваться устойчивость. Изготавливается серия жидких питательных сред с разным осмотическим давлением, за счёт добавления различных количеств нейтрального осмотика (полиэтиленгликоля ПЭГ-6000). Тот уровень осмотического давления питательной среды, при котором полностью прекращается рост мицелия, и гриб оказывается в состоянии «физиологической засухи», признаётся критическим (изотоническим) уровнем ОДКС для данного патогена.

На следующем этапе проводится массовая оценка осмотического давления клеточного сока исходного селекционного материала, включая сортообразцы, полученные с использованием ККГ- и ТПР-технологий селекции. Для этого из вегетативных тканей всех изучаемых сортообразцов в основные фазы онтогенеза отжимают клеточный сок и устанавливают его ОДКС. Образцы сои с осмотическим давлением клеточного сока, в критические для развития болезни фазы развития превышающим критические уровни ОДКС патогенного гриба, определяются как высокоустойчивые [11, 12] (табл. 2).

Подтверждение установленной ОДКС-технологией устойчивости образца сои к возбудителю осуществляется прямыми методами искусственного заражения этим же видом гриба.

Таблица 2

Пример выделения сортообразцов сои с осмотическим давлением клеточного сока, превышающим критический уровень ОДКС у возбудителя пепельной гнили *M. Phaseolina*

Сортообразец	Устойчивость к возбудителю болезни*	ОДКС сортообразцов в основные фазы развития, кПа**				
		1-й настоящий лист	полное цветение	бобообразование	налив семян	физиологическое созревание
Л-2717	высокая	560	760	1170	1100	700
Л-2577		530	740	1220	1090	660
Славия	от средней до высокой	490	660	870	930	590
Изидор		510	690	820	920	620
Вилана	средняя	540	650	800	830	540
Рента		510	600	820	860	520
Альба	от низкой до средней	420	510	650	670	430
Валента	низкая	380	460	650	630	400
Белгородская 6		450	410	650	600	420

* Критический уровень ОДКС возбудителя пепельной гнили – 930 кПа

** Критический уровень ОДКС сои – 1310 кПа

Сортообразцы сои с ОДКС, превышающим критические уровни ОДКС грибного патогена, размножаются и в дальнейшем оцениваются стандартными методами. Лучшие ОДКС-линии сои с высокими показателями других хозяйственно ценных признаков передаются на Госсортоиспытание.

В целом, разработка и практическое внедрение в селекционный процесс новых методов селекции, таких как ККГ, ТПР и ОДКС-технологии, позволили нам создать целую серию сортов сои и масличного льна с улучшенными или новыми признаками. Среди них: 5 высокоурожайных ККГ-сортов сои; 2 холодоустойчивых и 2 засухоустойчивых ТПР-сортов сои; 2 высокоурожайных и холодоустойчивых сорта сои, признаки которых получены с использованием ККГ и ТПР-технологий; высокоурожайный, холодоустойчивый и высокоустойчивый к пепельной гнили сорт сои, созданный на основе последовательного использования ККГ, ТПР и ОДКС-технологий; уникальный сорт масличного льна с полной устойчивостью ко льноутомлению почвы, и не менее уникальный зимующий сорт масличного льна, выведенные с использованием ТПР-технологии селекции.

Селекция этих культур с использованием разработанных нами методов продолжается. Одновременно проводится углублённое изучение генетических, физиологических и биохимических особенностей этих культур с целью формулирования теоретических основ реализации других хозяйственно полезных признаков, которые, в перспективе, могут послужить основой для разработки новых селекционных технологий по получению сортов сои и льна с улучшенными хозяйственно ценными признаками.

Литература

1. Борович С. Принципы и методы селекции растений. // М.: Колос, 1984. 344 с.
2. Домарадский И.В., Градов Н.Б. Очерки микологии для экологов // М.: Истоки, 2007. 86 с.
3. Зеленцов С.В. Использование полиплоидной рекомбинации генома в увеличении полиморфизма у сои // Доклады РАСХН, 2002. №3. С. 3-5.

4. Зеленцов С.В., Кочегура А.В., Мошненко Е.В. Генетическое улучшение сои с использованием комплекса компенсирующих генов // Итоги исследований по сое за годы реформирования и направления НИР на 2005-2010 гг. (сборник), Краснодар, 2004. С. 67-73.
5. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., Бубнова Л.А., Зеленцов В.С. Некоторые аспекты устойчивости растений к отрицательным температурам на примере сои и масличного льна // Масличные культуры. Научно-техн. бюлл. ВНИИ масличных культур, 2018. Вып. 2 (174). С. 55-70.
6. Зеленцов С.В., Рябенко Л.Г., Мошненко Е.В., Зеленцов В.С. Селекция масличного льна на устойчивость ко льноутомлению для короткоротационных севооборотов засушливых регионов юга России // Достижения науки и техники АПК, 2016. Т. 30. № 6. С. 9-11.
7. Зеленцов С.В., Лукомец А.В. Создание уникальных сортов сои во ВНИИМК с использованием новейших инновационных селекционно-генетических технологий. // Масложировая индустрия. Масла и жиры, 2017. № 2(3). С. 44-45.
8. Зеленцов С.В. Эволюционная роль полиплоидной рекомбинации генома цветковых растений (Сообщение I) // Сб. мат. IV межд. симпозиума «Эволюция жизни на Земле», 10-12 ноября 2010 г. // Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. С. 137-139.
9. Кильчевский А., Сычева Е. Современные генетические методы в селекции растений. // Наука и инновации, 2010. № 7 (89). С. 10-13.
10. Мошненко Е.В., Зеленцов С.В. Стерильность сои: Типы, морфология, цитогенетика, роль в формообразовании вида, применение в селекции – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co., KG, 2011. С. 81-93.
11. Саенко Г.М., Зеленцов С.В. Отбор толерантных к пепельной гнили генотипов сои на основе онтогенетической динамики осмотического давления клеточного сока // Масличные культуры. Научно-техн. бюлл. ВНИИ масличных культур, 2011. № 2 (148-149). С. 74-81.
12. Саенко Г.М., Зеленцов С.В. Патогенез гриба *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.: Морфология и вредоносность, взаимоотношения с растениями-хозяевами, условия образования микросклероциев – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, AV Akademikerverlag GmbH & Co., KG, 2012. 124 с.
13. Струнников В.А. Новая гипотеза гетерозиса: её научное и практическое значение // Вестник сельскохозяйственной науки, 1983. № 1(316). С. 34-40.
14. Струнников В.А., Струнникова Л.В. Гетерозис можно закрепить в потомстве // Природа, 2003. № 1. С. 3-7.
15. Rawat H. Agricultural Biotechnology // Jaipur, India, Oxford Book Company, 2008. P. 203-251.

Е.И. Шишанова¹

Выращивание объектов аквакультуры с заданными показателями качества продукции

Аквакультура динамично развивающаяся в мире и в России отрасль, включающая в себя воспроизводство, выращивание и переработку гидробионтов – морских и пресноводных организмов, постоянно обитающих в водной среде. За последние 20 лет добыча рыбы в мире достигла своего предела и держится на уровне около 100 млн. т, а объем производства объектов аквакультуры в мире вырос в 3,24 раза и достиг 106 млн.т. При этом доля продукции аквакультуры в рыбном хозяйстве России составляет около 4%.

Видами товарной аквакультуры и марикультуры являются [1]:

¹ Врио директора ВНИИ ирригационного рыбоводства, кандидат биологических наук

- пастбищная аквакультура – осуществляется на рыбоводных участках в отношении объектов аквакультуры, которые в ходе соответствующих работ выпускаются в водные объекты, где они обитают в состоянии естественной свободы;

- индустриальная аквакультура – реализуется без использования рыбоводных участков в бассейнах, на установках с замкнутой системой водоснабжения, а также на рыбоводных участках с использованием садков и (или) других технических средств, предназначенных для выращивания объектов аквакультуры в искусственно созданной среде обитания;

- прудовая аквакультура – предусматривает разведение и (или) содержание, выращивание объектов аквакультуры в прудах, обводненных карьерах, а также на водных объектах, используемых в процессе функционирования мелиоративных систем, включая ирригационные системы;

- марикультура – выполняет культивирование морских гидробионтов при различных уровнях индустриализации и интенсификации;

- рекреационная аквакультура – базируется на системе ведения рыбоводства на рыбоводных прудах, малых водоемах и приусадебных участках с организацией любительского и спортивного рыболовства.

Развитие индустриальной аквакультуры становится особенно актуальным с учетом того, что уловы океанической рыбы и других морепродуктов сокращаются, а рыбные запасы внутренних водоемов находятся в критическом состоянии и поддерживаются в основном за счет искусственного воспроизводства. Поэтому перспективным и надежным источником увеличения объемов белка и пищевой рыбопродукции в мировой практике является аквакультура.

Продукцией аквакультуры является пищевая рыбная продукция, непищевая рыбная продукция и иная продукция из объектов аквакультуры.

Объекты аквакультуры

В водоемах Российской Федерации обитает 295 типично пресноводных видов рыб, относящихся к 140 родам, 34 семействам и 13 отрядам. В промысловых уловах в реках, озерах и водохранилищах отмечаются представители 87 видов рыб. Объектами искусственного разведения в пресных водах России являются представители 79 видов рыб, 3 вида ракообразных и 12 видов морских гидробионтов [2].

Всего в реестр селекционных достижений включено около 50 объектов разведения, успешно используемых в рыбоводстве. Однако большинство видов выращивается без регистрации одомашненных форм и пород, в частности: линь, щука, обыкновенный сом, язь, нельма, судак, белорыбица, муксун, сиги и др. Поэтому в настоящее время в Госсорплеккомиссии зарегистрировано всего 50 объектов перспективных для доместикации и породообразования у рыб, ракообразных и моллюсков.

Товарная аквакультура (товарное рыбоводство), в том числе марикультура, является видом предпринимательской деятельности, относящейся к сельскохозяйственному производству.

В настоящее время из всего разнообразия видов аквакультуры только в области разведения рыб в прудовой и индустриальной аквакультуре с контролируемыми условиями среды и адаптивными технологиями, возможно производство продукции с заданными качествами. Наиболее наукоемким направлением научно-практического развития является генетика и селекция, поэтому заданные качества продукции достигаются в основном поиском новых объектов выращивания и использованием эффективных генетических и селекционных методов в племенном деле и товарном выращивании гидробионтов. При этом следует иметь в виду, что геномные

исследования на рыбах начались намного позже, чем в животноводстве и многие направления находятся в первой стадии развития.

Разработаны, создаются, совершенствуются и успешно внедряются новые методы генетики и селекции гидробионтов (табл. 1).

Эти методы позволяют получать объект производства с заданными продукционными, товарными, технологическими и маркетинговыми качествами, а также создавать высокопродуктивные ресурсосберегающие природные, искусственные и комбинированные системы производства продукции.

В настоящее время рыба является основным объектом аквакультуры, к которому сформулированы основные требования как к объекту производства и продажи, и на удовлетворение которых направлены научные разработки.

К основным заданным требованиям к продукционным, товарным, технологическим и маркетинговым качествам рыбы как объекта выращивания относятся:

- жизнестойкость и высокая продуктивность в интенсивных технологиях выращивания;
- высокий темп массонакопления;
- заданный пол для получения икры и выращивания быстрорастущих самок или самцов;
- заданное соотношение съедобных и несъедобных частей тела;
- высокая иммуноустойчивость и стрессоустойчивость.

Таблица 1

Направления развития селекционно-генетических исследований в аквакультуре

Направления развития селекционно-генетических исследований		
Селекция	Генетика	Научно-методические и технологические основы
Новые породы Новые кроссы Двухлинейное скрещивание Триплоидные гибриды Однополое потомство Гибридизация межвидовая Доместикация новых объектов разведения	Расшифровка генома рыб. Поиск наследуемых информативных хозяйственно-полезных признаков. Модификация / редактирование генома. Исследование генетических процессов в доместизируемых популяциях. Генетический контроль пороодообразования.	Разработка методов адаптации, ведения племенной и селекционной работы с новыми видами, генотипирование и индивидуальная типизация, абдоменоскопия. Разработка критериев морфологической и генетической оценки. Разработка технологий ведения племенной работы и выращивания новых объектов аквакультуры.

Жизнестойкость и высокая продуктивность в интенсивных технологиях выращивания

Поиск новых объектов выращивания, обладающих высокой продукционной способностью, хорошими органолептическими свойствами, а также использование генетических и селекционных методов в племенном деле позволяют вести работу на повышение жизнестойкости и продуктивности гидробионтов в условиях интенсивных индустриальных технологий.

Например, при всем многообразии объектов выращивания среди осетровых (6 видов и 22 их гибридов) только два чистых вида – сибирский осетр, стерлядь и два искусственно полученных гибрида стерляди – х белуги и сибирского осетра х белуги,

хорошо адаптировались к промышленным условиям выращивания и отличаются не только высоким темпом роста, но и технологичностью. Проблемными местами при выращивании ряда перспективных и высокопродуктивных чистых видов и их гибридов является низкая выживаемость на ранних и переходных этапах развития, чувствительность к высоким плотностям посадки и хендлингу.

Хорошая выживаемость и продуктивность в интенсивных условиях выращивания наблюдается у карпа, нильской тилапии и радужной форели. Относительно новый объект промышленной аквакультуры – клариевый сом, который несмотря на соответствие всем требованиям, находится еще на стадии интеграции в существующее производство и только начинает завоевывать рынок сбыта. Поэтому одно из направлений селекции – это отбор на приспособляемость к интенсивным технологиям выращивания и гибридизация.

Для реализации генетического потенциала ведется работа по усовершенствованию кормов и поиску новых источников белка. За последние 20 лет удалось снизить кормовой коэффициент в 2-3 раза. К сожалению, отечественное кормопроизводство не обеспечивает потребностей аквакультуры и отстает от зарубежных аналогов. Сейчас ведется работа по исследованию и внедрению пробиотиков, что позволит увеличить конверсию корма в среднем на 10%.

Высокий темп массонакопления

Высокий темп массонакопления у рыб обуславливается генетическим потенциалом, в том числе способностью к высокой конверсии корма. Увеличение природного потенциала успешно достигается методами диплоидизация и триплоидизация у карповых, лососевых и осетровых, а также за счет создания новых межвидовых гибридов, кроссов и помесей карповых, осетровых, лососевых и других рыб.

Получение гиногенетического диплоидного потомства у видов рыб, происходит путем устранения в ооцитах редукции хромосом при мейозе для получения диплоидных яиц и генетической инактивация сперматозоидов. Для диплоидизации материнского комплекса хромосом зрелую икру подвергают температурному шоку – действию низкой или высокой температуры, что препятствует после оплодотворения завершению мейоза и отделению второго направительного тельца. Генетическая инактивация сперматозоидов достигается обработкой их лучами Рентгена или ультрафиолетовыми, а также некоторыми химическими веществами (диметилсульфат или эмбихин). Скрещивание межвидовых гибридов с родительскими видами приводит к образованию триплоидного потомства [1]. Индуцированный диплоидный гиногенез получен у представителей разных семейств – осетровых, лососевых, сиговых камбаловых, карповых, вьюновых и др. [3-5].

При исследовании рыбохозяйственных свойств триплоидных гибридов, например карасекарпа, показано, что они на всех этапах выращивания превосходят карпа по выживаемости, а по скорости роста в 3 раза превышают чистые виды [6].

Межвидовая гибридизация осетровых позволила получить 3 высокопродуктивные породы на основании гибрида белуги и стерляди. Но отсутствие достаточного количества икры белуги обусловило необходимость перехода на гибрид стерляди с белугой или на другие гибриды. Например, на гибрид сибирского осетра с белугой. По своим продукционным показателям гибрид приближается к белуге и вырастает за 2 года в среднем до 2,5 кг, превосходя ее по выживаемости на всех этапах онтогенеза (рис. 2) [7].

Высокий темп массонакопления обеспечивается также ускоренной селекцией за счет отбора по высокому уровню активности аланинаминотрансферазы (АЛТ). Это

стабилизирует породу на 3-м поколении селекции, повышает ее стрессо- и иммуноустойчивость при повышенной продуктивности по массе и выживаемости потомства [8, 9]. На основании отбора по уровню активности АЛТ были выведены породы чувашского чешуйчатого карпа, анишского зеркального карпа, волжский рамчатый карп и зональный тип карпа «Волжский чешуйчатый» (рис. 3). Эти породы карпа сочетают высокую жизнестойкость и продуктивность, не уступающую лучшим региональным породам и доходящей до 35 ц/га при соблюдении технологии кормления, с устойчивостью к неблагоприятным условиям среды в период размножения и роста, неполноценному рациону кормления [10, 11, 12].

Производство межпородных кроссов карпа позволяет увеличить выход рыбы с 1 га прудовой площади на в среднем на 22 % и считается одним из самых легких и перспективных направлений в селекционно-племенной работе с рыбами.



Рис. 2. Исходные родительские формы гибрида (в центре) сибирского осетра (внизу) с белугой (вверху)



Рис. 3. Самка зонального типа «Волжский чешуйчатый» карп

Отечественные эксперименты под руководством академика Л.К. Эрнста по созданию трансгенного карпа с использованием гормона роста крупного рогатого скота и интерферона человека путем введения их в яйцеклетку рыб не дали ожидаемого результата. Был получен интересный материал, в частности показана возможность интенсивной выработки рыбой интерферона и получены карликовые самцы карпа, показавшие чрезвычайно высокую жизнеспособность. Однако с помощью методов генной инженерии можно повысить устойчивость рыб к неблагоприятным факторам среды и заболеваниям. Например, канадские ученые ввели в геном атлантического лосося ген белка-антифриза камбалы, что позволило повысить устойчивость лосося к низким температурам [13].

Выращивание рыб с заданным полом

Управление дифференцировкой пола у рыб для получения икры и выращивания быстрорастущих самок или самцов является одним из наиболее наукоемких и перспективных направлений исследований в аквакультуре. Управление полом осуществляется на двух уровнях – генетическом (гиногенез, гибридогенез, андрогенез, полиплоидизация) и онтогенетическом через корма, воздействия на условия среды (температуру, pH), возрастной подбор производителей, элиминацию определенных половых клеток и гормональные воздействия.

За рубежом активно используют методы промышленного получения триплоидных стерильных гибридов лососевых рыб путем специальной обработки икры. Лососевые триплоиды получили широкое распространение для производства особо крупной, стерилизованной (никогда не достигающей половой зрелости) радужной форели в пресной или соленой воде. Такие особи продолжают расти без задержек в развитии, не приобретая признаков полового созревания. Это позволяет производителю вырастить рыбу желаемых размеров.

В России исследования сосредоточены на исследованиях по искусственному или индуцированному андрогенезу, клонированию и ориентированы на решение таких задач, как:

- получение высоко инбредных линий (выведенных длительным инбридингом – близкородственным скрещиванием) и клонов;
- регуляция пола;
- сохранение редких и исчезающих видов на основе генетического материала спермиев;
- изучение взаимоотношений между ядром и цитоплазмой и т.д.

Явление андрогенеза используют при исследовании роли ядра в наследственности, изучения ядерно-цитоплазматического взаимодействия, для получения строго гомозиготных организмов, а также животных одного пола. При андрогенезе развитие зародыша происходит под контролем лишь мужского ядра, без участия женского. Естественных популяций рыб, которые размножались бы этим способом, не существует. Андрогенетическое потомство получают экспериментальным путем. Для этого проводят генетическую инактивацию женских хромосом облучением икринок лучами Рентгена или ультрафиолетовыми и далее вызывают диплоидизацию мужских хромосом. Последнее достигается объединением хромосом при первом делении дробления или проникновением в яйцо двух сперматозоидов [10-12].

Андрогенез представляет особый интерес в связи с проблемой сохранения генофондов исчезающих видов рыб. Сохранить редкие и исчезающие виды рыб можно при осеменении криоконсервированной спермой исчезающего вида инактивированных яйцеклеток самок близкого вида и удвоении мужских хромосом [10-12]. Андрогенез, как и гиногенез можно использовать при создании клонов рыб и для

получения высокоинбредных самцов без применения гормональной инверсии пола. В настоящее время получено андрогенетическое потомство у радужной форели, карпа, осетровых и некоторых других видов рыб, запатентован способ получения одноположенского потомства у осетровых рыб [13-16]. Промышленного применения данные методы в настоящее время не получили.

Гормональная регуляция пола у рыб в настоящее время достигается в основном введением гормонов в пищу или в среду обитания – воду. Разработаны методы регуляции формирования вторичных половых признаков у рыб с использованием андрогенов более, чем у 120 видов. Но наиболее реальное практическое применение этой методики нашло для лососевых видов рыб, лишь некоторые авторы применяли методику формирования вторичных половых признаков у рыб на осетровых гибридах, в частности на бестере, а также белом амуре [6].

Введение в определенных дозах мужского полового гормона (метилтестостерона) на ранних стадиях онтогенеза, соответствующих началу дифференцировки половой железы, приводит к развитию семенников у генотипических самок. Таким образом, можно получить функционально полноценных самцов с хромосомной конституцией самок (XX – при женской гомогаметности, ZW – при женской гетерогаметности). И наоборот, обработка молоди женскими половыми гормонами (эстрогенами) приводит к развитию половой железы у генотипических самцов по женскому типу и позволяет получать самок-инверсантов (XY либо ZZ) [17, 18].

В работах с объектами товарного рыбоводства практический интерес чаще представляет выращивание одноположенских потомств, что (при женской гомогаметности) может быть достигнуто путем скрещивания обычных самок с самцами-инверсантами: ♀♀ XX x ♂♂XX = XX (♀♀, 100 %). В связи с этим значительное число исследований было посвящено получению самцов-инверсантов XX. Для решения этой задачи особенно удобно использовать гиногенетические (одноположенские) потомства, поскольку все самцы, полученные в результате гормонального воздействия на гиногенетическую молодь, являются безусловно генотипическими самками; далее проводят скрещивание таких самцов инверсантов с обычными самками по отработанной схеме. Это позволяет резко, в 2-3 раза, увеличить темп массонакопления (рис. 4).

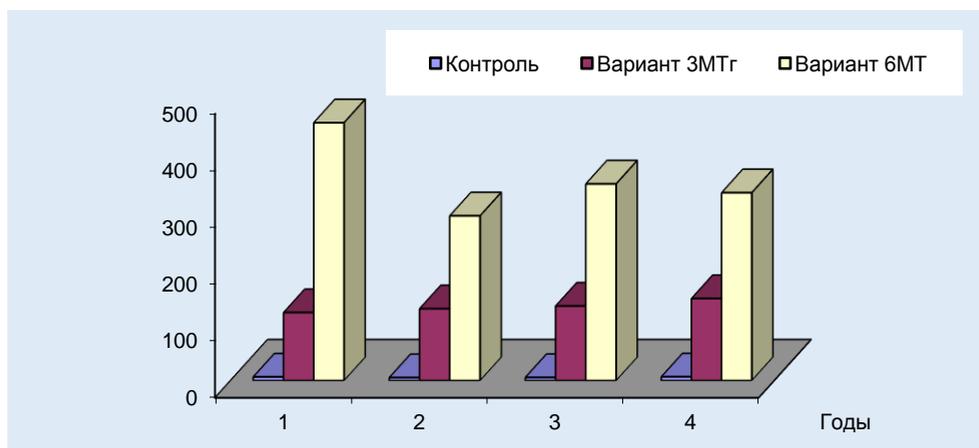


Рис. 4. Прирост массы (г) самок форели потомства реверсантов форели, в % к приросту контрольных рыб в возрасте 0+. НВХ «Прибрежное», Калининградская область [6]

К менее затратным и наиболее часто применяемым на практике для достижения смещения соотношения полов, особенно в карповодстве, относят физико-химические и традиционные биологические методы [19].

1. Регуляция температуры в период онтогенеза. Рекомендуемые температуры при инкубации икры для направленного смещения полового состава культивируемых рыб в сторону преобладания:

- самцов: свыше 23°C , ожидаемый результат до 96% особей.

- самок: ниже 17°C , ожидаемый результат до 82% особей.

2. Воздействие pH среды на онтогенез рыб. Спермии, устойчивые к кислотному анабиозу, преимущественно определяют женский пол потомства ($78,2\pm 1,63\%$), а спермии, устойчивые к критическому щелочному уровню, главным образом определяют мужской пол потомства ($72,4\pm 1,86\%$). Рекомендуемые значения pH среды при осеменении икры для направленного смещения полового состава культивируемых рыб в сторону преобладания:

- самцов: выше 9,4, ожидаемый результат до 72% особей.

- самок: ниже 6,5, ожидаемый результат до 83% особей.

3. Воздействие состава кормов на онтогенез рыб. Анализы материалов исследований показали, что при кормлении рыб, начиная с первого года жизни, рационом с преобладанием белка и слабокислой основой, в группе преобладают самцы (58%), а в случае, когда рацион содержал больше углеводов и имел слабощелочную основу – преобладали самки - 62,4%. При добавлении метионина в углеводистый рацион количество самок увеличивалось. Исследования показали, что добавки метионина в рационы карпа в длительном онтогенезе (с первого года жизни до половозрелого состояния) на белковом рационе не оказывают существенного влияния, в то время как, на углеводистом рационе количество полученных самок составляет 71,0%. В экспериментах использовали в качестве добавок кормовой метионин отечественного производства, 0,75 мг на 1 г рыбы, с поправками в течение сезона.

4. Воздействие возрастного подбора производителей на онтогенез рыб. При воспроизводстве потомков существенную роль играет возрастной состав производителей. С возрастом самок в разной степени изменяется проницаемость яйцеклеток для спермиев, несущих X или Y хромосомы. Сочетаемость производителей разного возраста значительно влияет на соотношение полов в группах. Рекомендуемый подбор производителей для направленного смещения полового состава культивируемых рыб в сторону преобладания:

- самцов: старые самки × старые самцы; молодые самки × старые самцы; молодые самки × средневозрастные самцы;

- самок: старые самки × средневозрастные самцы; старые самки × молодые самцы; средневозрастные самки × средневозрастные самцы; средневозрастные самки × молодые самцы; молодые самки × молодые самцы.

5. Воздействие подбора гетероморфных половых клеток на онтогенез рыб. В хромосомном наборе половые хромосомы выполняют роль оперативной памяти, а аутосомы – постоянной, поэтому половые хромосомы (в первую очередь, возможно У-хромосомы) являются воротами для изменчивости в наследственности.

Биологическая проверка крупных и мелких спермиев показала, что от крупных спермиев получено больше самок ($70\pm 5,33\%$), а от мелких – самцов ($59,2\pm 3,92\%$). При гомогенном виде подбора гамет от крупных икринок и крупных спермиев получено больше самок ($84,3\pm 1,84\%$; $td = 10,5$), а от мелких икринок и мелких спермиев – больше самцов ($71,7\pm 2,34\%$; $td = 6,3$)

Рекомендуемый подбор гетероморфных половых клеток для направленного смещения полового состава культивируемых рыб в сторону преобладания:

- самцов: мелкая икра × обычные или мелкие сперматозоиды.
- самок: обычная или крупная икра × обычные или крупные сперматозоиды.

Разделение половых клеток проводят непосредственно перед использованием на центрифуге, при скорости 1000 об/м в течение 3 мин [8].

Заданное соотношение съедобных и несъедобных частей тела

К несъедобным частям тела рыб относится чешуя, кости, плавники, голова, внутренние органы. Селекция на хорошее соотношение съедобных и несъедобных частей тела обеспечивается в настоящее время традиционным отбором, подбором семейных пар и межвидовым и межлинейным скрещиванием, позволяющим получить хорошие экстерьерные и интерьерные показатели и определенный тип чешуйного покрова.

Селекция карпа по уровню активности АЛТ позволила достичь мечты многих селекционеров – снизить количество мелких костей в рыбе. Эти работы с XIX века вели европейские рыбководы, однако за счёт резкого снижения жизнестойкости полученной рыбы, работы были свёрнуты.

Ниже приведены оценки количества межмышечных костей у некоторых пород карпа по данным разных авторов: 95-104, в среднем 99 (Lieder, 1961); 76-84, в среднем 80 (Kandler, 1971); 70-135, в среднем 102 (Sengbusch, 1967); 99-104, в среднем 102 (Dowgiallo, 2005), чувашская порода 67-73, в среднем 70 [20]. Средняя величина по рассматриваемым примерам находится в пределах 100 межмышечных косточек на тушку карпа, в то время как у чувашских карпов их среднее количество составляет 70 шт.

Также известно, что карпы с полным отсутствием (голые) или небольшим количеством чешуи (рамчатые и зеркальные) пользуются повышенным спросом. Тип чешуйного покрова может быть получен межпородным и/или межлинейным скрещиванием. Например, при скрещивании немецкого и татайского карпов получается высококачественное потомство (рис. 5).



Рис. 5. Двухлеток помеси немецкого голого карпа и татайского чешуйчатого карпа

Как у производителей, так и у потомства отмечаются маленькие размеры головы относительно тела, высокая спина и заданный чешуйный покров. Однако сохранение

чистых линий и пород требует дополнительных ресурсов. Поэтому в 2012 году выведена порода рамчатого карпа, который пользуется повышенным спросом у населения и показывает высокую продуктивность на юге России до 30 ц/га (рис. 6) [12].

Однако отсутствие чешуи обуславливает необходимость тщательного соблюдения технологии выращивания и ветеринарно-санитарных требований для предотвращения заболеваний. По продуктивности и выживаемости его превосходит кросс с зеркальным карпом. Поэтому еще одним из направлений работы является селекция на иммуноустойчивость и стрессоустойчивость.

Селекционная работа с Ангелинской породой карпа, обладающей устойчивостью к краснухе и ряду других вирусных и бактериальных заболеваний, позволила выделить физиолого-биохимические показатели для дальнейшей работы над выведением иммуноустойчивых пород и кроссов. У иммуноустойчивых производителей рыб больше доля зрелых сегментоядерных нейтрофилов, отвечающих за врожденный иммунитет (фагоцитоз). Средний цитохимический коэффициент лизосомального катионного белка у иммуноустойчивых рыб имеет оптимальное невысокое значение в связи с тем, что эти рыбы больше расходуют этот цитотоксичный белок в процессе иммунной защиты. Эти и другие данные позволили сформировать критерии отбора рыб на иммуноустойчивость [21-23].



Рис. 6. Самка рамчатого карпа

Не менее важным направлением исследований является селекционно-племенная работа с перспективными видами рыб – дополнительными объектами рыбоводства, широко используемыми за рубежом: обыкновенным сомом, щукой, язем, линем.

Разработаны рекомендации по созданию маточных стад, методы ведения племенной работы, критерии оценки племенных рыб, разработана методическая и технологическая документация по воспроизводству и выращиванию данных видов рыб. Получено 4 селекционных поколения обыкновенного сома, на основе которых завершаются работы по выведению его породы. При работе с обыкновенным сомом выявлено, что рисунок абдомена так же индивидуален, как отпечаток пальца человека, носа у коров, кошек и других животных, что позволяет идентифицировать производителей и вести с ними селекционную работу. Таким образом будущее индустриальной и прудовой аквакультуры за методами селекции, гибридизации

и генной модификацией объектов разведения, позволяющих выращивать рыбу с заданными показателями качества.

В настоящее время РАН сформирована комплексная программа научных исследований «Современные проблемы аквакультуры», в которой самым крупным блоком являются селекционно-генетические исследования. В нем предусмотрено использование методов геномной селекции для создания пробандов для пород новых объектов аквакультуры.

Литература

1. Федеральный закон «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 02.07.2013 N 148-ФЗ (последняя редакция).

2. Стратегия развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 года (утв. Минсельхозом России 10.09.2007)

3. *Черфас Н.Б., Емельянова О.В.* Роль отдаленной гибридизации в возникновении однополо-женских комплексов у рыб (результаты исследований природных популяций и гибридизационных экспериментов) // Биология развития и управление наследственностью. М.: Наука, 1986. С. 82-105.

4. *Балашиов Д.А.* Биологические и рыбохозяйственные свойства гибридов серебряного карася (*Sarassius gibelio*) и карпа (*Cyprinus carpio*). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2018. 23 с.

5. *Черфас Н.Б., Абраменко М.И., Емельянова О.В., Ильина И.Д., Трувеллер К.А.* Генетические особенности индуцированного гиногенеза у гибридов серебряного карася с карпом // Генетика. 1986. Т. 22, № 1. С. 134-139.

6. *Метальникова К.В.* Методы получения реверсантов для сохранения генома самок лососей и селекции /Состояние и перспективы развития пресноводной аквакультуры / Докл. Межд. научно-практ. Конф. (Москва, ВВЦ, 5-6 февраля 2013 г.). М.: Изд-во РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. С. 324-332.

7. *Шишанова Е.И., Литто Е.В.* Гибрид сибирского осетра ленской популяции с белугой - ЛБ-11 //Породы и одомашненные формы осетровых рыб/ М.: ООО Столичная типография, 2008, С. 107-119.

8. *Маслова Н.И., Петрушин А.Б.* Методические рекомендации по управлению селекционным процессом в рыбоводстве (на примере карпа) // М. 2005. 27 с.

9. *Маслова Н.И., Петрушин А.Б.* Методика ускоренного создания высокопродуктивных пород карпа. М. 2016. 27 с.

10. *Маслова Н.И., Петрушин А.Б., Пронина Г.И., Ревакин А.О.* Морфологическая и биохимическая оценка пород карпа с разным чешуйчатым покровом. РАСХН, МСХ, ГНУ ВНИИР Сб. Состояние и перспективы развития пресноводной аквакультуры» (докл. научно-практич. конф.). 2013. С. 291-309.

11. *Маслова Н.И., Петрушин А.Б., Серветник Г.Е.* Эколого-биологические предпосылки для создания внутривидового зонального типа карпа чувашской чешуйчатой породы // Вестник РАСХН. 2014. №6. С. 66-68.

12. *Маслова Н.И., Петрушин А.Б., Лабенец А.В.* Рамчатый карп – перспективный объект для рыбоводных хозяйств. МСХ, ГНУ ВНИИР, МСХА. 2013. 205 с.

13. *Крюков В.И., Музалевская Ю.А., Юшков П.А.* Рыбоводство. Селекция карпа. Орел: Из-во А. Воробьева, 2007. 54 с.

14. *Грунина А.С., Рекубратский А.В., Цветкова Л.И. и др.* О возможности восстановления генофондов исчезающих видов осетровых рыб с помощью диспермного андрогенеза // Ветеринарная патология. № 1. С. 165-166.

15. *Грунина А.С., Рекубратский А.В., Цветкова Л.И., Барминцева А.Е., Васильева Е.Д., Ковалев К.В., Полуэктова О.Г.* Диспермный андрогенез у осетровых рыб с использованием криоконсервированной спермы: получение андрогенетического потомства сибирского осетра и андрогенетических гибридов между сибирским и русским осетрами // Онтогенез. 2011, том 42, № 2. С. 133-145.

16. Грунина А.С., Рекубратский А.В., Цветкова Л.И., Барминцев В.А., Васильева Е.Д. Диспермный андрогенез как метод восстановления исчезающих генофондов осетровых рыб. Состояние и перспективы развития пресноводной аквакультуры. Материалы докл. Межд. научно-практ. конф. (Москва, ВВЦ, 5-6 февраля 2013 г.), Изд-во РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева. С. 47-53.
17. Метальникова К.В. О влиянии тестостерон-пропионата на некоторые биологические показатели лососевых рода *Salmo* и гибрида бестера *HusohusoxAcipenserRuthenus*// Современные проблемы рыбохозяйственных исследований. 1989. М.: ВНИРО. С. 89-99.
18. *Metalnikova K.V.* Methods for obtaining sex reversants in *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) and *Huso huso* x *Acipenser ruthenus* (Hybrid F2) and histogenesis in salmon reversants in response to androgens // «Actual status and active protection of sturgeon fish populations endangered by extinction». 2008. Olsztyn. P.113-126.
19. Маслова Н.И. Методика управления дифференцировкой пола у рыб. М.: Перо. 14 с.
20. Маслова Н.И., Петрушин А.Б. Малокоственный карп – путь повышения качества товарной продукции / Журнал «Рыбоводство». 2011. №2. С. 32-33.
21. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов // Учебное пособие. СПб.: Лань. 2017. 96с.
22. *Pronina G.I.* Physiological and immunological features of males and females of the immunologically resistant carp breed (*Cyprinus carpio* L.) *AACL Bioflux*, 2017, Volume 10, Issue 2. P. 335-340
23. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю., Ревякин А.О., Степанова О.И., Курищенко Ж.О., Петрова Н.В. Использование гидробионтов в качестве альтернативных биомоделей. // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. СПб., 2017. 103. N 8. С. 912-929.

Н.И. Кашеваров¹, И.М. Горобей²

Некоторые научные результаты в НИИ аграрного профиля, находящиеся под научно-методическим руководством Сибирского отделения РАН и планы научных исследований на 2020-2030 годы

Сибирь является крупнейшим аграрным регионом Российской Федерации. Научное обеспечение агропромышленного комплекса региона повышение его конкурентоспособности, разработка инновационных подходов и внедрение в сельскохозяйственное производство эффективных ресурсосберегающих технологий, соответствующих климатическим условиям и региональным особенностям осуществляется комплексом научно-исследовательских учреждений, расположенных на территории Сибирского федерального округа и находящихся под научно-методическим руководством Сибирского регионального отделения российской академии наук.

Объединенный ученый совет по сельскохозяйственным наукам Сибирского отделения РАН (объединяющий членов РАН, состоящих в Отделении, ведущих ученых и специалистов научных учреждений аграрного профиля сибирского региона) осуществляет координацию научной деятельности трех крупных аграрных научных центров: ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН), ФГБНУ Федеральный Алтайский научный

¹ Директор Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, академик РАН

² Ученый секретарь ОУС по сельскохозяйственным наукам СО РАН, доктор сельскохозяйственных наук

центр агробиотехнологий (ФАНЦА), ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (Омский АНЦ); ФГБНУ Иркутский НИИСХ, ФГБНУ Бурятский НИИСХ, ФГБНУ НИИАП Хакасии, ФГБНУ Тувинский НИИСХ, а также рядом структурных подразделений ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (Красноярский НИИСХ, Красноярский НИИЖ, НИИСХ и Экологии Арктики) и ФГБНУ «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (НИИСХ Северного Зауралья, ВНИИВЭА). Исследования проводятся в соответствии Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг., приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в РФ и Стратегии научно-технологического развития РФ по направлениям: экономика и земельные отношения, земледелие, растениеводство и селекция, кормопроизводство, зоотехния, ветеринарная медицина, механизация, автоматизация и электрификация, переработка и хранение сельскохозяйственной продукции [1,2]. Научный потенциал составляет 992 исследователя, 13 академиков РАН, 7 членов-корреспондентов РАН, 113 докторов наук, 401 кандидат наук.

В результате выполнения государственного задания на проведение научно-исследовательских работ в 2018 г. учеными ФГБНУ «Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий РАН» для органов управления агропромышленного комплекса, руководителей и специалистов сельскохозяйственных организаций разработана «Стратегия социально-экономического развития АПК Сибирского федерального округа в условиях глобализации и интеграции». В стратегии рассмотрены цели, задачи, направления развития АПК и механизмы их реализации, проблемы ресурсного обеспечения, управления в АПК в условиях развития многоукладной экономики, земельные отношения, а также вопросы научного обеспечения АПК до 2035 года [3].

Для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия на основе системного общеэкологического подхода к оценке эколого-ресурсного потенциала агроландшафтов, в СФНЦА РАН разработана «Методология и методика оценки эколого-ресурсного потенциала агроландшафтов», включающая оценку биопродуктивности агроландшафта, его экологической и агрономической устойчивости с использованием современного инструментария – ГИС-технологий [4].

ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» предложены приемы эффективного использования азотных удобрений при возделывании яровой пшеницы по традиционным, минимальным и No-till технологиям для лесостепной зоны Западной Сибири, позволяющие получить прибавку урожая до 20 ц/га [5].

ФГБНУ «НИИАП Хакасии» подготовлено «Руководство по восстановлению сильнодеградированных, опустыненных пахотных земель аридной зоны Средней Сибири, подвергнутых стихийной консервации путем трансформации в лесопастбища». Новый способ создания системы пастбищезащитных лесных полос в сухостепной зоне юга Средней Сибири обеспечивает повышение продуктивности травостоя на пастбищах на 20-38 %, позволяет увеличить срок службы пастбищезащитных лесных полос.

ФГБНУ «Тувинский НИИСХ» разработана «Технология создания сенокосов из однолетних зернобобово-злаковых травосмесей», обеспечивающая создание высокоурожайного травостоя из однолетних зернобобово-злаковых травосмесей на богаре для сенокосного использования в условиях лесостепной зоны Республики Тыва: урожайность зеленой массы составляет 19,0 т/га, сбор кормовых единиц – 10,36

тыс./га, обменной энергии – 153,42 ГДж/га. Технология предназначена для использования в аратских и крестьянских хозяйствах Республики Тыва [6].

Для специалистов в области защиты растений сотрудниками НИИСХ Северного Зауралья Тюменского научного центра СО РАН подготовлена монография «Полужесткокрылые на мотыльковых растениях и методы их регулирования в условиях Тюменской области», в которой приведены результаты многолетних исследований видового состава полужесткокрылых, населяющих природные станции и агробиоценозы Тюменской области, показаны трофические связи, определена вредоносность и хозяйственное значение насекомых отряда Hemiptera на мотыльковых растениях [7].

В Государственный реестр охраняемых селекционных достижений с 2018 года внесено более 10 сортов сельскохозяйственных культур сибирской селекции.

Сорт овса *Сибирский геркулес* селекции ФГБНУ «Омский АНЦ». Сорт среднеспелый, вегетационный период 80 дней. Засухоустойчив, отзывчив на повышение почвенного плодородия. Обладает высоким иммунитетом к пыльной головне, практически устойчив к покрытой головне. Средняя урожайность – 4,67 т/га, максимальная урожайность – 5,75 т/га. Выход крупы с 1 га 0,43 т. Сорт рекомендуется для возделывания на крупяные цели и производства зернофуража для регионов Сибири и Урала.

Яровая мягкая пшеница *Зоряна* селекции ФГБНУ «Иркутский НИИСХ» с потенциальной урожайностью 6,5 т/га. Вегетационный период составляет 94 дня, масса 1000 зерен 35,1 г., сорт устойчив к неблагоприятным условиям внешней среды.

Сорта селекции ФГБУН «Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий РАН»:

Сорт костреца безостого *Флагман*. Сорт среднеспелый, кормового использования, зимостойкий. Урожайность сухого вещества 83 ц/га, семян 6,4 ц/га. Рекомендуется для возделывания в Западно-сибирском регионе.

Сорт редьки масличной *Сибирячка*. Сорт скороспелый, кормового и сидерального использования. Урожайность зеленой массы 336 ц/га, семян 12,3 ц/га, содержание жира в семенах 28,0%, содержание эруковой кислоты в масле 6%.

Сорт сои *Горинская*. Сорт скороспелый, зернового использования, среднеустойчивый к грибным заболеваниям, высота прикрепления нижнего боба 11-13 см. Урожайность зерна составляет от 19,6 до 23,1 ц/га. Содержание белка в семенах 35-38%, жира 17-19%. Рекомендуется для возделывания в Восточно-сибирском регионе.

Сорт овса ярового *Урал 2*. Сорт среднепоздний, кормового направления с высокой облиственностью, засухоустойчив, среднеустойчив к полеганию, устойчив к болезням. Пленчатость зерна 24%, содержание сырого протеина в зеленой массе 10,5%. Урожайность зеленой массы 448 ц/га, зерна 33 ц/га. Рекомендуется использовать на зеленый корм и зерно для возделывания в степных и лесостепных районах Урала, Западной и Восточной Сибири.

Сорт суданской травы *Достык 15*. Создан совместно с ТОО «Павлодарский НИИСХ» (Республика Казахстан). Сорт среднеспелый, отличается высокой засухоустойчивостью, хорошей оттавностью, устойчивостью к пыльной головне, красному бактериозу. Урожайность зеленой массы 79,7 ц/га, сухого вещества 22,2, семян 6,1 ц/га. Районирован в Павлодарской, Карагандинской и Кустанайской областях Республики Казахстан.

Сорт льна-долгунца *Томич*. Ультраскороспелый. Урожайность превышает стандарт: льносоломы – на 1,1 ц/га (на 2,8%), семян – на 0,9 ц/га (на 18,7%); по содержанию волокна – на 0,8 ц/га, выходу длинного волокна – на 0,7 ц/га.

С 2018 года внесены в Государственный реестр допущенных к использованию сортов растений достижений и Государственный реестр охраняемых селекционных 3 сорта селекции Красноярский НИИСХ ФИЦ Красноярский научный центра СО РАН:

рожь озимая *Красноярская универсальная*. Сорт с низким содержанием водорастворимых пентозанов (0,5-0,8%), пригоден для зернофуражного использования, зимостойкий, устойчив к полеганию, с хорошими хлебопекарными качествами, превосходит стандарт Енисейка по урожайности в среднем на 4,5 ц/га;

ячмень яровой *Емеля*. Сорт со слабопонижающим колосом с гладкими остями, повышенной устойчивостью к полеганию и к ломкости колоса при перестое, превышает по урожайности зерна сорт Соболек на 10,9 ц/га, а сухого вещества зеленой массы – на 8,3 ц/га;

пшеница яровая мягкая *Канская*. Сорт раннеспелый, вегетационный период 72-82 суток. Средняя урожайность зерна 33,4 ц/га. Ценный по качеству зерна.

Созданы и переданы в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений:

сорт овса *Колчановский*. Сорт среднеспелый, вегетационный период 80 дней. По итогам конкурсного сортоиспытания селекционного материала в среднем за 2016–2018 гг. превзошел стандартный сорт Тубинский по продуктивности на 6,2 ц/га. Сорт сравнительно устойчив к полеганию;

сорт гороха посевного *Надежда*. Сорт среднеспелый с фуникулярными (неосыпающимися) семенами, усатым типом листа и полукоротким стеблем. По итогам конкурсного сортоиспытания селекционного материала в Красноярском НИИСХ сорт, в среднем, за 2015–2018 гг. превзошел стандарт Яхонт по продуктивности на 4,7 ц/га.

Учеными ФГБНУ «Бурятский НИИСХ» созданы и переданы в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений:

сорт мягкой яровой пшеницы *Байкальская*. Сорт высокопродуктивный засухоустойчивый среднепозднеспелый, превышает стандарт Бурятская 79 на 3,1 ц/га, устойчив к полеганию и осыпанию, отнесен к ценным сортам. Вегетационный период в среднем 96 дней. Предназначен для хлебопекарной промышленности и для зернофуражного использования. Предлагается для возделывания в степной и сухостепной зоне Республики Бурятия и регионах со схожим климатом;

жимолость синяя – *K-17*. Сорт высокзимостойкий, засухоустойчивый, скороплодный, с отличными вкусовыми качествами. Средний урожай с куста – 1,8 кг, максимальный – 2,5 кг. Содержание витамина С – 29,4 мг/100 г, массовая доля сухих веществ – 11,2 %, массовая доля сахаров – 8,06 %, общая кислотность – 1,48 % и пектина – 0,85 %.

В области зоотехнии в 2018 г. сибирскими селекционерами получены патенты на селекционные достижения:

ФГБУН «Сибирский Федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН» Крупный рогатый скот Сибирячка. Поголовье 16574 коров с удоем 7261 кг молока, жирностью 3,83 % и содержанием белка 3,17 %. Живая масса коров в среднем 595 кг, телок в 18 месяцев составляет 425 кг. Средний выход телят 81 %. Срок использования коров 3,4 отёлов;

ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий» Алтае-уссурийская порода. Пятнистый олень. Первая отечественная порода пятнистых оленей. Средняя пантовая продуктивность оленей алтае-уссурийской породы на рогача составляет – 1,18 кг, на перворожку – 0,24 кг, средний выход молодняка – 66,0%, что превышает пантовую продуктивность аборигенного поголовья на 25,0 – 41,0%, по выходу молодняка – на 40,0%.

Учеными Красноярского НИИЖ ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН для хозяйств, занимающихся молочным скотоводством, разработан способ повышения молочной продуктивности коров при использовании в рационе хвойной муки. Скармливание хвойной муки, полученной из отходов лесной промышленности Красноярского края, в дозировке 50 г/гол./сутки в смеси с концентрированными кормами позволило увеличить удой за 100 дней лактации на 419,7 кг (13,5%), количество молочного жира и белка – на 31,3 (22,9%) и 11,5 кг (12,1%) соответственно [8].

ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» предложена схема применения пробиотика Ветом 1.1 и селенсодержащего препарата при выращивании телят, позволяющая по достижении животными возраста 6 месяцев достоверно увеличить абсолютный прирост массы тела по сравнению с контрольными аналогами на 17,1%, среднесуточный прирост массы тела на 16,9%.

ФГБУН «Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий РАН» разработаны кормовые добавки: стимулирующая репродуктивную функцию свиней - позволяет повысить количество плодотворных осеменений до 100,0%, выход живых поросят при опоросе на 7,5-20,3%, улучшает показатели крупноплодности и сохранности поросят; стимулирующая репродуктивную функцию несушек перепелов – обеспечивает экономию расхода корма на продукцию на 15,0-15,4%, увеличивает яичную продуктивность на 6,7-6,8%, выход яйца массы на 10,8-11,1%, выход инкубационных яиц на 7,8-8,8%, вывод цыплят от заложенных яиц на 4,17-4,23%, от оплодотворённых на 15,1-15,5% [9,10].

На основе обогащения базового корма препаратом Гумитон (гуминовые соединения торфа) разработан способ повышения сохранности и темпов роста молоди рыб семейства Сиговых (пелядь), обеспечивающий снижение гибели молоди на 17-25% и повышение суточного набора массы в 1,2-1,8 раза [11].

В области ветеринарной медицины учеными ФГБУН «Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий РАН» для птицеводческих предприятий, предприятий перерабатывающей промышленности предложена диагностическая ПЦР тест система для выявления ДНК микроорганизмов *Listeria monocytogenes* в патологическом материале и объектах внешней среды, позволяющая выявлять геном *Listeria monocytogenes* в кормовых ингредиентах, кормах, фильтрационных материалах (для воды); профилактировать заражение птицы; сократить срок лабораторных исследований с 84 до 24 часов.

В ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» разработана компьютерная программа «Оценка взаимосвязи солнечной активности с показателями заболеваемости животных». Программа позволяет оценить взаимосвязь солнечной активности в виде чисел Вольфа с матрицей числовых рядов, отражающих характеристики различных показателей заболеваемости животных, накапливать статистические данные об оценке взаимосвязи солнечной активности с показателями заболеваемости.

ФГБНУ «Тувинский НИИСХ» представлена «Система мероприятий по профилактике и борьбе с бруцеллезом сельскохозяйственных животных в условиях Республики Тыва», включающая оптимальные схемы купирования эпизоотического процесса в очагах острого бруцеллеза крупного и мелкого рогатого скота после разовой очистки стад от сомнительно и положительно реагирующих животных, а также давших положительные результаты на выявление культуры возбудителя [12].

ВНИИВЭА Тюменского научного центра СО РАН на основании многолетних результатов исследований (с 2006 по 2018 гг.) по изучению болезней пчёл на пасеках

Юга Тюменской области разработана Эпизоотическая карта распространения болезней пчел на пасаках юга Тюменской области [13].

Сотрудниками института механизации и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН создан дисково-анкерный сошник с острым углом вхождения в почву с разнесенными структурными элементами. Сошник предназначен для реализации бороздкового ленточного посева зерновых по мульчированным фонам с одновременным внесением в почву жидких форм биологически активных веществ; обеспечивает укладку семенного материала во влажный почвенный горизонт (на глубину до 80 мм), что создаёт благоприятные условия для прорастания зерновок и вегетации растений, обеспечивая ширину ленты посева 70-80 мм; позволяет вносить биологически активные вещества в жидком виде.

Завершенные разработки в области хранения и переработки сельскохозяйственной продукции в 2018 представили НИИСХ и ЭА ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН и ФГБУН «Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий РАН»:

В НИИСХиЭА ФИЦ КНЦ СО РАН разработана рецептура сырцовых пряников с использованием в качестве ингредиентов местного растительного сырья. Определены регламентируемые физико-химические и органолептические характеристики качества экспериментальных пряничных изделий, выявлено положительное влияние растительных добавок на потребительские свойства мучных кондитерских изделий. Обоснован выбор растительного сырья для создания кондитерских изделий: надземная часть кипрея узколистного (*Chamerion angustifolium* L.), надземная часть шикши голарктической (*Empetrum subholarcticum*), плоды рябины сибирской (*Sorbus sibirica*) [14].

Рецепт соуса из плодов рябины обыкновенной разработан в СФНЦА РАН. Продукт обладает высокой питательной ценностью, благодаря использованию щадящих технологических режимов обработки, сохраняющих нативные свойства исходного растительного сырья. Основа для соуса из плодов рябины обыкновенной, семян амаранта, меда и специй представляет собой устойчивый к расслоению гомогенный пластичный продукт, соответствующий показателям безопасности использования для потребителя. Хранение полуфабриката осуществляется при температуре окружающей среды не выше плюс $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

В заключении, подводя итоги, следует сказать, что научные учреждения аграрного профиля, находящиеся под научно-методическим руководством Сибирского отделения РАН, успешно завершили 2018 год, полностью выполнив государственное задание на проведение научно-исследовательских работ. Учеными представлено большое количество завершенных разработок.

В рамках реализации приоритетного направления научно-технического развития Российской Федерации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных продуктов питания». В целях исполнения плана фундаментальных научных исследований на 2020-2030 годы по подпрограмме 2. «Фундаментальные научные исследования», научно-исследовательские учреждения аграрного профиля, находящиеся под научно-методическим руководством СО РАН, из 24 направлений Плана фундаментальных исследований (раздел XIII. Сельскохозяйственные науки) в настоящее время работают и планируют продолжить исследования по 22 направлениям исследований следующих областей сельскохозяйственных наук:

экономика, земельные отношения и социальное развитие села – 3 учреждения (СФНЦА РАН; Омский АНЦ; НИИСХ и ЭА ФИЦ КНЦ СО РАН);

земледелие, мелиорация, водное и лесное хозяйство – 8 учреждений (СФНЦА РАН; Омский АНЦ; НИИСХ и ЭА ФИЦ КНЦ СО РАН; Иркутский НИИСХ; Бурятский НИИСХ; НИИАП Хакасии; НИИСХ СЗ ТюмКНЦ СО РАН; ВНИИВЭА ТюмКНЦ СО РАН);

растениеводство, защита и биотехнология растений – 8 учреждений (СФНЦА РАН; Омский АНЦ; ФАНЦА; Красноярский НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН; Иркутский НИИСХ; Бурятский НИИСХ; Тувинский НИИСХ; НИИСХ СЗ ТюмКНЦ СО РАН);

зоотехния и ветеринария – 9 учреждений (СФНЦА РАН; Омский АНЦ; ФАНЦА; Иркутский НИИСХ; Бурятский НИИСХ; Тувинский НИИСХ; НИИСХ СЗ ТюмКНЦ СО РАН; НИИАП Хакасии; НИИСХ и ЭА ФИЦ КНЦ; ВНИВЭА ТюмКНЦ СО РАН);

механизация, электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства – 3 учреждения (СФНЦА РАН; Омский АНЦ; ФАНЦА);

хранение и переработка сельскохозяйственной продукции – 3 учреждения (СФНЦА РАН; ФАНЦА; НИИСХ и ЭА ФИЦ КНЦ).

Однако нельзя обойти стороной вопрос о проблемах, с которыми приходится сталкиваться научным учреждениям и которые требуют решения:

- с целью достижения конкурентного уровня научных исследований и разработок требуется серьезное целевое переоснащение приборной базы и оборудования институтов и селекционных центров;

- в целях повышения качества исследований необходимо усиливать коллективы исследователей за счет координации с научными и образовательными организациями занимающихся аналогичной проблематикой;

- необходимо отменить решения Министерства сельского хозяйства РФ о введении высоких цен за испытания сортов в Государственном сортоиспытании;

- необходимо инициировать рассмотрение вопроса о включении должности заведующих лабораториями в категорию научных сотрудников;

- необходимо увеличение тарифных ставок научных сотрудников;

- изучить вопрос переноса представления отчетов о результатах выполнения государственного задания с 01 декабря текущего года на более поздний срок, так как в государственном задании определен срок представления отчетов до 15 февраля следующего года.

Литература

1. Изменения, которые вносятся в Программу фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы. <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71140516/#ixzz5YswISCaV>.

2. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации.

3. Стратегия социально-экономического развития АПК Сибирского федерального округа в условиях глобализации и интеграции / П.М. Першукевич, Н.И. Кашеваров и др.; под ред. П.М. Першукевича, Л.В. Тю / СибНИИЭСХ СФНЦА РАН. Новосибирск. 2018. 315 с.

4. *Капустянчик С.Ю., Добротворская Н.И.* Группировка агроландшафтов лесостепи Приобья с использованием ГИС на примере ключевого участка / Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 2. Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах. М.: 2018. С. 60-64.

5. *Усенко В.И., Усенко С.В.* Эффективность азотных удобрений при возделывании пшеницы по традиционным и No-till технологиям в лесостепи Алтайского Приобья // Земледелие. 2017. № 8. С. 32-35.

6. Оюн А.Д. Изучение однолетних суданково-бобовых травосмесей в степной зоне Республики Тыва / А.Д. Оюн, Л.Т. Монгуш, А.С. Сотпа // Вестник АГАУ. 2017. № 12. С.37-41.
7. Санникова М.Ф., Тимофеев В.Н. Полужесткокрылые на мотыльковых растениях и методы их регулирования в условиях Тюменской области. НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН. Тюмень. 2018. 157 с.
8. Иванов Е.А., Терещенко В.А., Иванова О.В., Ларина Н.Д. Древесные отходы Сибири в кормлении дойных коров // Ветеринария и кормление. 2018. № 5. С. 29-30.
9. Носенко Н.А., Скрябин Н.А., Чиркин А.П., Волков В.А. Влияние биологически активного продукта – муки зародышевой ржи на воспроизводительные качества свиноматок // Инновационная и продовольственная безопасность. 2017. № 3 (17). С.57-67.
10. Мерзлякова О.Г., Филатов В.И., Рогачёв В.А., Нефедова Е.В. Кормомикс-МОС в рационах перепелов // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2018. №9. С. 22-24.
11. Удинцев С.Н., Жиликова Т.П. Применение кормовой добавки гумитон при выращивании в аквакультуре // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. №12. С. 50-52.
12. Лопсан Ч.О. Бруцеллез крупного рогатого скота в Республике Тыва // Вестник Алтайского государственного университета. 2018. № 6 (164). С. 102-107.
13. Monitoring of bees deaseses Apis mellifera in Russia // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. № 3. С.104-110.
14. Тюпкина, Г.И. Использование дикоросов в производстве хлебобулочных изделий / Г.И. Тюпкина, К.А. Лайшев, Н.И. Кисвай, Е.А. Конюхова, С.Л. Белецкий // Хлебопродукты. 2018. № 2. С. 58-59.

В.И. Трухачев¹

Подготовка кадров в условиях цифровой трансформации экономики

Информационные технологии и цифровизация экономических процессов существенно изменила подходы к преобразованиям в традиционных секторах экономики, оказала воздействие на структуру потребления. Появились новые методы в аналитике, прогнозировании и принятии управленческих решений. Очевидно, что распространение цифровых технологий в той или иной степени скажется на функционировании всех субъектов рыночных отношений. Кроме того, в результате цифровой трансформации экономики появятся новые рынки, большинство из которых будет иметь сетевую природу, с усиленной фокусировкой на человека как конечного потребителя.

В условиях масштабного распространения цифровых технологий, развития информационной инфраструктуры, повышения требований к минимальному набору цифровых компетенций для работников большинства сфер экономической деятельности и секторов экономики, все более важной задачей становится подготовка кадров [2].

В Указе Президента Российской Федерации от 07.05.2018 №204 выделено отдельное направление «Цифровая экономика», в рамках которого предусмотрено [7]: создание сквозных цифровых технологий преимущественно на основе отечественных разработок; обеспечение подготовки высококвалифицированных кадров для цифровой экономики; преобразование приоритетных отраслей экономики, включая образование и сельское хозяйство, посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений.

¹ Ректор Ставропольского государственного аграрного университета, академик РАН

Цифровые технологии – сфера динамичная и быстроразвивающаяся, в которой появление, устаревание и смена технологий происходят чрезвычайно быстро. Но процесс формирования образовательных стандартов не столь динамичный и зачастую отстает от permanently меняющихся требований экономики.

Переход на целевые установки нового технологического уклада, с которым связывают распространение цифровых технологий, требует решения целого комплекса проблем в вопросах подготовки кадров: устранение цифрового неравенства населения в регионах (особенно в сельской местности) и повышение доступности цифровых технологий; с появлением новых профессий необходима постоянная адаптация учебных программ к специфическим требованиям и особенностям формирования профессионального образования в агротехнологической, сельскохозяйственной, биотехнологической и других сферах отраслевой специфики; требуется связующее звено между системой образования и сферой использования цифровых технологий – permanentный и многосторонний мониторинг запросов рынка труда и последующего развития соответствующих компетенций у слушателей учебных заведений; в системе образования необходима большая гибкость и адаптивность – внедрение онлайн-обучения.

К 2024 году планируется, что в сельском хозяйстве 20% рабочих мест будет связано непосредственно с цифровыми технологиями, доля покрытия различными технологиями связи земель сельскохозяйственного назначения составит 70%, 10% рабочих мест будет оснащено информационными технологиями [5].

Сегодня система подготовки кадров для цифрового сельского хозяйства требует существенного изменения. Так подготовка кадров высшей квалификации испытывает серьезные сложности, численность аспирантов из года в год снижается. Если в 2010 году в аспирантуре обучалось 157 437 человек, то в 2016 году – 98 352 человека (снижение показателя на 37,5%) (рис. 1).

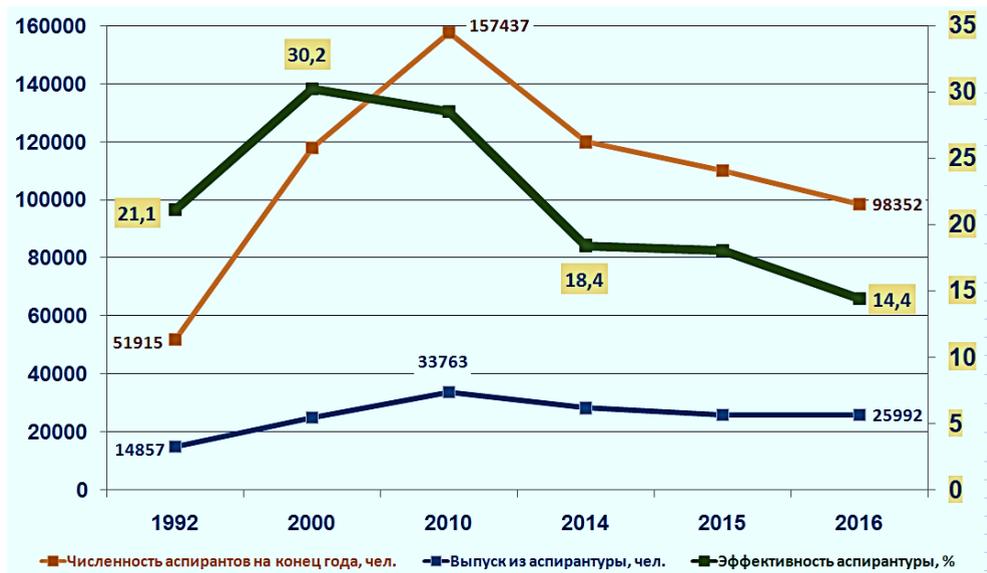


Рис. 1. Динамика подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации в Российской Федерации с 1992 г. по 2016 г. (данные статистического сборника «РОССИЯ В ЦИФРАХ» Федеральной службы государственной статистики)

Эффективность работы аспирантуры в 2000 году составляла 30,2%, в 2014 году – 18,4%, в 2016 году – 14,4%. Получается, что в 2016 году из практически 26 тысяч выпускников аспирантуры защитили диссертации 3730 человек

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре сельскохозяйственного профиля имеет свою специфику. Во-первых, необходимость раннего погружения, обучающегося в реальный производственный процесс (бакалавриат – магистратура – аспирантура). Во-вторых, наличие мощной современной материально-технической базы для проведения научных исследований и апробации их результатов. В-третьих, высокий уровень материальных затрат на проведение научных исследований в области сельского хозяйства, по сравнению с гуманитарными науками. В-четвертых, временные затраты на разработку, апробацию и внедрение инновационных продуктов и технологий для предприятий агропромышленного комплекса.

Анализ данных подготовки научно-педагогических кадров в учреждениях подведомственных Минсельхозу России, за последние три года показывает, что численность аспирантов также снижается. Если в 2015 году в аспирантуре обучалось 6 246 человек, то в 2017 году – 5 005 человек (снижение показателя на 19,8%) (рис. 2).



Рис. 2. Динамика подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации

С целью выявления основных тенденций, перспектив и ограничений в системе подготовки кадров для цифрового сельского хозяйства, учеными и специалистами Ставропольского ГАУ в сентябре 2018 года проведен экспертный опрос топ-менеджмента 54 аграрных вузов страны. В результате опроса было установлено, что половина респондентов отмечает необходимость существенного изменения системы подготовки кадров для цифрового сельского хозяйства (53,8%), еще около трети считает, что существующая система вполне способна готовить кадры в условиях цифровой экономики (28,8%), по мнению 3,8% экспертов на сегодняшний день невозможно точно оценить, как стандарты цифровой экономики повлияют на подготовку кадров и 9,6% – затруднились дать определенный ответ.

В настоящее время у аграрных вузов есть возможность использовать современные технические системы, поддерживающие внедрение цифровых технологий: широкополосный интернет (отметили 78,4% участников опроса); «облачные» сервисы (56,9%); RFID-технологии (27,5%); ERP-системы (21,6%).

В рамках исследования респонденты из числа топ-менеджмента аграрных вузов высказали свое мнение относительно основных трудностей в подготовке кадров для цифрового сельского хозяйства. Степень значимости проблемы оценивали по 10-балльной шкале. Ранжирование ответов показало, что первые три места занимают: отсутствие материально-технической базы в вузах (8,0 баллов); недостаток квалифицированных кадров среди ППС по соответствующим направлениям (7,6); необходимость образовательных стандартов (7,3).

В качестве ключевых компетенций, необходимых для успешной работы в условиях цифровой трансформации экономики, названы: способность выявлять главное в потоке информации и пользоваться специальной техникой для расширения своих умственных способностей, гибкость мышления и умение работать в виртуальных командах.

По мнению экспертов, не во всех бизнес-процессах, связанных с сельскохозяйственным производством, имеются одинаковые условия для цифровой трансформации. Существуют объективные особенности цифровизации производственных процессов в силу сложности их формализации, многофакторной обусловленности результата, высокого уровня неопределенности и зависимости от неуправляемых или малоуправляемых факторов – природно-климатических, биологических, социально-психологических и т.п.

Респондентами оценены возможности цифровизации производственных процессов в сферах: экономики и бухгалтерского учета – 9,6 баллов; электрификации сельского хозяйства – 8,8; механизации сельского хозяйства – 8,7, агрономии – 8,2; переработки сельскохозяйственной продукции – 7,8; ветеринарии – 6,6 баллов.

Ранжирование значимости направлений цифровой экономики, по которым наиболее востребована подготовка специалистов для сельского хозяйства, показывает, что на первом месте находится «Автоматизация и системы управления» (8,8 баллов), на втором – «Информационные ресурсы» (8,1).

Ранжирование значимости направлений цифровой экономики, по которым наиболее востребована подготовка специалистов для сельского хозяйства, затрагивает детализирующие спецификации операционных процессов: дистанционное зондирование (8,0 баллов); робототехника (7,9); разработка программного обеспечения (7,6); телекоммуникации (6,8); компьютерное оборудование и архитектура (6,3 баллов).

Чтобы обеспечить подготовку кадров для цифрового сельского хозяйства необходимо преодолеть дефицит компетенций научно-педагогических кадров вузов и, в первую очередь, речь идет об анализе больших данных, разработке мобильных приложений, анализе пространственных данных, дизайне механизмов и объектов сельскохозяйственного назначения [2].

Из числа профессиональных цифровых компетенций (Hardskills), по мнению экспертного сообщества, будут наиболее востребованы у специалистов аграрной сферы в ближайшие 3-5 лет: в планировании – анализ и оценка новых технологий, продуктов и их свойств (70,6% респондентов); в реализации – интеграция информационных систем (60,8%); в эксплуатации – поддержка пользователей информационных систем (52,9%); в обеспечении – подготовка и обучение пользователей (62,7%); в управлении – оптимизация процессов (отметили 70,6% респондентов).

Анализ действующих образовательных стандартов по четырем укрупненным группам специальностей и направлений подготовки, которые определяют сельскохозяйственный профиль аграрных вузов (19.00.00 «Промышленная экология и биотехнологии», 21.00.00 «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и

геодезия», 35.00.00 «Сельское, лесное и рыбное хозяйство», 36.00.00 «Ветеринария и зоотехния») выявил, что из 53-х действующих образовательных стандартов по уровням образования (СПО, бакалавриат, магистратура и аспирантура) в 10-ти отсутствуют компетенции по формированию цифровой грамотности у обучающихся. В остальных 43-х содержатся компетенции, направленные лишь на формирование базовых компьютерных программ (начальная ступень цифровой грамотности). Предлагаем проект компетенций, ориентированный на получение наиболее востребованных в современной экономике (табл. 2).

Таблица 2.

Проект компетенций по формированию сквозной цифровой грамотности

Уровень образования, программа	Компетенции по формированию цифровой грамотности
Специалисты среднего звена	<ol style="list-style-type: none"> 1. Использование современных средств вычислительной техники, коммуникаций и связи 2. Применение стандартных и/или специализированных информационных баз данных
Программы бакалавриата	<ol style="list-style-type: none"> 1. Способность использовать инструментарий информационных ресурсов, платформ и технологий, повышающих эффективность производства, способствующих улучшению контроля и надзора, обеспечивающих эффективность управления 2. Умение пользоваться платформами «интернета вещей» (кибер-физические системы) 3. Способность решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе стандартных и/или специализированных информационных баз 4. Знание технологии и технических средств для автоматизации, роботизации и интеллектуального сельскохозяйственного производства 5. Умение оформлять документацию с использованием специализированных баз данных в профессиональной деятельности
Педагогические кадры, аспирантура	<ol style="list-style-type: none"> 1. Способен вести информационный поиск и применять технологии цифрового анализа на основе инструментария информационных ресурсов, платформ и технологий, повышающих эффективность производства, способствующих улучшению контроля и надзора, обеспечивающих эффективность управления 2. Способен на основе анализа преимуществ и недостатков по данным платформ «интернета вещей» (кибер-физические системы) выбирать/формировать оптимальную стратегию функционирования в рамках профессиональной деятельности
Магистратура	<ol style="list-style-type: none"> 1. Способен осуществлять оперативное регулирование на основе инструментария информационных ресурсов, платформ и технологий, повышающих эффективность производства, способствующих улучшению контроля и надзора, обеспечивающих эффективность управления 2. Способен анализировать преимущества и недостатки на основе данных платформ «интернета вещей» (кибер-физические системы) 3. Способен осуществлять критический анализ на основе стандартных и/или специализированных информационных баз 4. Способен разрабатывать систему мероприятий по разработке и внедрению технологии и технических средств для автоматизации, роботизации и интеллектуального сопровождения сельскохозяйственного производства

Положительный эффект представленной модели обеспечивает система формирования сквозных взаимосвязанных навыков владения цифровыми технологиями на всех уровнях образования:

специалисту среднего звена, прежде всего, требуется владение базовым компьютерным оборудованием, включая стандартные и/или специализированные информационные базы данных;

бакалавру необходимы знания для использования цифровых технологий трудовых функций;

магистр должен управлять процессами, используя цифровые технологии;

выпускнику аспирантуры необходимо владеть информационным поиском и применять технологии цифрового анализа в исследовательской деятельности.

Особая роль в подготовке кадров для цифрового сельского хозяйства должна отводиться базовым кафедрам. Согласно проведенному опросу, только у 15% аграрных вузов созданы такие кафедры, а 60% заявили о готовности их образования. Массовое открытие базовых кафедр, которое способствовало бы трансферу передовых цифровых технологий из корпоративного сектора в образовательную среду, затруднено в силу объективных законодательных ограничений. Так, наличие требований к внесению в лицензию адресов базовых кафедр, как мест осуществления образовательной деятельности – существенный барьер для практических занятий в условиях реального производства [6]. В 2016 году был разработан законопроект о внесении изменений в Федеральный закон от 29.12.2012 № 273 «Об образовании в РФ», который допускает ведение образовательной деятельности в структурных подразделениях, в том числе базовых кафедрах, без внесения адресов в лицензию. Принятие этого изменения будет способствовать значительному расширению сотрудничества с предприятиями АПК и сокращению разрыва между теоретическим и практическим обучением.

Проведенное исследование показало с одной стороны – разобщенность мнений респондентов в отношении отдельных аспектов применения цифровых технологий, с другой – большой интерес к исследуемому вопросу. Результаты опроса дают возможность сформулировать ряд важных детерминант, закономерностей и проблем развития аграрного образования в современных условиях, нивелирование которых должно стать приоритетом государственной политики в вопросах подготовки кадров для цифровой экономики.

1. Образовательные стандарты должны обеспечивать получение навыков работы с большими данными и владение технологиями принятия управленческих решений в условиях избыточного количества информации.

2. Необходимо улучшение материально-технической базы университетов, создание базовых кафедр на производстве. Актуален вопрос наличия квалифицированных кадров среди профессорско-преподавательского состава ВУЗов по соответствующим направлениям, способных развивать образовательные технологии подготовки специалистов для цифрового сельского хозяйства на принципах междисциплинарной подготовки.

3. Выявлено важное противоречие, в соответствии с которым отмечены отрасли, в большей степени поддающиеся цифровой трансформации и использующие наиболее рутинные операции и процессы. Однако большинство специалистов отмечает, что внедрение цифровых технологий происходит прежде всего в более технологичных сферах, связанных с производством продукции и требующих применения роботизированных систем.

4. С целью развития междисциплинарного и ориентированного на практику подходов в обучении целесообразно также включение в попечительские советы ВУЗов

и техникумов, специализирующихся на подготовке кадров для цифровой экономики высшего управленческого персонала крупных IT-компаний, а также ведущих промышленных и сельскохозяйственных предприятий региона.

5. Необходимо формирование методическими советами ВУЗов совместно с руководством отраслевых предприятий перечня актуальных компетенций для внесения изменений в программу обучения студентов в соответствии с современными потребностями предприятий. Кроме того, следует проводить ежегодный мониторинг потребностей региональной экономики в отраслевых специалистах, владеющих цифровыми технологиями и навыками.

Проведенное исследование позволило установить основные проблемы системы подготовки кадров, нивелирование которых позволит повысить цифровую грамотность в аграрном секторе экономики.

Наиболее перспективные направления совершенствования системы кадров:

повышение имиджа трудовой деятельности в сельской местности, позиционирование данного сектора экономики как высокотехнологичного и наукоемкого, каковым он станет в ближайшие годы, что позволит привлечь в отрасль профессионалов;

развитие цифровой инфраструктуры, позволяющей снизить цифровое неравенство между городским и сельским населением, систематическое проведение мероприятий по повышению защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних информационных угроз;

увеличение бюджетных мест по программам высшего образования, связанных с информационно-коммуникационными технологиями;

развитие дополнительного образования (расходы в экономически развитых странах сопоставимы с расходами на высшее образование) путем создания федерального центра по повышению квалификации научно-педагогических работников аграрных вузов в области применения цифровых технологий в сельском хозяйстве;

развитие системы самообразования студентов и научно-педагогических работников на открытых интернет-платформах. Ориентация образовательных технологий на получение «коротких» компетенций в условиях, когда цифровые технологии развиваются более быстрыми темпами, чем они приходят в вузы.

Литература

1. Индикаторы цифровой экономики: 2018. Статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневецкий, Г.Л. Волкова, Л.М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ. 2018. 268 с.

2. Козлова Г.Г. Роль высшей школы в развитии цифровой экономики / Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 2. С. 63-65.

3. Кулагина Н.А. Основы оценки инновационного потенциала хозяйствующего субъекта в условиях современных реалий / Кулагина Н.А., Козлова Е.М. // Транспортное дело России. 2013. № 6. С. 19-20.

4. Манжосова, И.Б. Модернизация сельского хозяйства в условиях цифровой экономики: анализ проблем и поиск решений.– Ставрополь. Секвойя. 2018. 156 с.

5. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утв. распоряжением Правительством РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

6. Российская Федерация. Законы. Об образовании в Российской Федерации. Федер. закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 03.08.2018).

7. Указ Президента РФ от 07.05.2018 №204 (ред. от 19.07.2018) «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».



**ДАЛЬНЕ-
ВОСТОЧНОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ**



А.С. Ващук¹

Исторический опыт планирования и прогнозирования развития российского Дальнего Востока

В первой пятилетке объем капвложений в развитие Дальнего Востока составил 1 млрд, в 1933-1937 гг. – 8 млрд руб. Объем валовой продукции крупной промышленности ДВК увеличился в 2 раза. Называя высокие цифры выполнения советского плана на Дальнем Востоке, следует отметить, что они были достигнуты большими усилиями советских людей и чрезмерными гуманитарными издержками. Так 35-40% занятых рабочих и служащих в промышленности региона приходилось на принудительный труд, а на Северо-Востоке – 80%.

В 1930-1950-х годах перспективы развития дальневосточной территории включались в общесоюзные пятилетние планы под влиянием задачи создания и развития военно-индустриальной базы, укрепления советского форпоста на восточной границе [5, 15, 18]. В годы же Великой Отечественной войны основные мероприятия по усилению обороноспособности Дальнего Востока реализовывались с оперативным учетом экономического и военного потенциала страны.

В дальнейшем в условиях смягчения политического режима и курса правительства на улучшение уровня жизни в стране, в 1960-1970-е годы ученые смогли активизировать свое участие в диалоге с властью, используя разные формы информации о результатах своих исследований. В 1955 г. с образованием Госкомитета Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы начал свою деятельность Научный совет и Научно-исследовательский институт труда, а дальневосточная тематика приобрела заметный статус в исследованиях его сотрудников. В 1960-е годы продолжал активно продвигать свою идею В.С. Немчинов, считавший, что без адекватного развития человеческого потенциала невозможно развитие производительных сил региона [4, 19]. Тогда дальневосточный вектор политики охватывал и Северо-Восток, в его научном обеспечении значительную роль сыграли труды С.В. Славина. С 1960-х годов идет распространение концепции экономического развития региона как части народнохозяйственного комплекса. «С этого периода разработка «концепций» как специфических вербальных моделей регионального развития, становится одним из основных инструментов прогнозирования в региональной экономике» [17, с.11]. В 1960-е гг. многие достижения в области планирования были связаны с практической деятельностью структур Госплана СССР [4, 8, 17, 20, с. 99-100, 281-342], в том числе научно-исследовательского института (Ф.И. Дьяконов – член Совета по изучению производительных сил при Госплане, А.Н. Гладышев, Б.Ф. Шапалин – сотрудники Центрального экономического научно-исследовательского института Госплана, Н.М. Сингур – начальник подотдела Сибири и Дальнего Востока Госплана СССР и др.).

Труды ученых по проблеме закрепления трудовых ресурсов на Дальнем Востоке использовались управленцами при разработке многих правительственных документов. Созданная лаборатория по изучению трудовых ресурсов ДВ под руководством Л.Л. Рыбаковского предоставила солиднейший материал для принятия партийно-правительственных постановлений по Дальнему Востоку. Даже экономическая комиссия ВЦСПС использовала разработки ученых, обращая внимание

¹ Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, доктор исторических наук

политического руководства на социальные проблемы дальневосточников при составлении планов.

К концу 1960-х годов страна столкнулась с проблемой балансов основных сырьевых ресурсов, необходимых для развития промышленности, по времени это совпало с напряжением военно-политической обстановки на дальневосточной границе. В 1967 г. появляется новый документ по Дальнему Востоку, Постановление ЦК КПСС, Совмина СССР от 08.07.1967, который закрепил исключительную привилегию для Дальнего Востока в той модели планирования. Концепция документа предусматривала ускоренное развитие сырьевых отраслей экономики, но при возвращении к идее комплексного экономического развития» [5; 20, с. 100-112, 118-123]. По подсчетам экономистов, постановление было выполнено на 80%. К началу 1970-х валовой продукт Дальнего Востока формировался на 70% за счет промышленности. В позднесоветскую эпоху плановость была направлена на укрепление системы национального хозяйства, в которой территориальные ячейки ограничивались рамками хозяйственных комплексов экономических районов. В целом плановость в 1960-1970-е гг. использовалась как инструмент выравнивания уровней социально-экономического развития территорий.

Советская практика регионального планирования завершается Постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР 1987 г. «О комплексном развитии производительных сил Дальневосточного экономического района, Бурятской АССР и Читинской области на период до 2000 года». Фактически документ стал ответом М.С. Горбачева на коллективное обращение первых руководителей с Дальнего Востока о поддержке ускоренного развития территории. Тогда же произошло расширение территориального объекта планирования, Центр пытался усилить административный ресурс для укрепления связей между Сибирью и ДВ и обеспечения повышения роли СССР в АТР. Архивные источники содержат множество подготовительных материалов, которые были выполнены учеными, в том числе и Дальнего Востока [20, с. 680-692]. Однако в силу известных исторических обстоятельств эта программа имела печальную судьбу и была исполнена всего на 30%.

В эпоху радикальных реформ, после ликвидации Госплана СССР и создания Министерства экономики Российской Федерации, развивается научное направление программно-целевого планирования. В современной российской истории очень тесно переплетаются социально-политические события и вектор обновления научных подходов к региональной экономике [14]. Так, социальная напряженность в регионе в 1990-е годы и политический торг Б.Н. Ельцина с дальневосточными губернаторами накануне новых президентских выборов, стимулировали утверждение федеральной целевой программы 1996 г. Однако в то время было не до рывка в развитии региона, и основной целью программы стала его экономическая стабилизация. Кроме социально-политических факторов на реформаторские идеи в области территориального планирования оказали влияние два важных события в мировой экономической науке. Во-первых, возникновение нового цикла работ о пространственной экономике в рамках «новой экономической географии» и их активное восприятие российскими учеными. Это теории «полосов роста» Ф. Перу, «осей развития» П. Потье, центра-периферии Дж. Фридмана, Х. Ричардсона – теория эффекта городской агломерации, теория П. Кругмана. «Пространственная экономика: города, регионы и международная торговля [24]. И вторым событием, создавшим почву для дискуссии в экспертном сообществе, стало распространение теории «проклятия ресурсов» (R. Auty) [22, 23]. На этом плюралистическом фоне выделяются позиции ученых из ДВО РАН, при разработке исследовательских программ: в частности, П.А. Минакира по развитию Дальнего Востока [16, 17] и П.Я. Бакланова – по природопользованию в

специфических условиях трансграничных регионов [3]. Вся историческая обстановка, включая геополитическую ситуацию в АТР, атмосферу дискуссий, нарастающий миграционный отток населения требовали повышенного внимания Центра к управленческим проблемам Дальнего Востока. Этот процесс по времени совпал с формированием нового управленческого класса в России, который в литературе часто называют бюрократией развития.

Новый управленческий класс проявил особый интерес к трем концептам пространственной экономики, которые можно сформулировать в крайней сжатой формуле: это признание межрегионального неравенства и его динамики; назначение ответственных за локализацию хозяйственной деятельности; концентрация экономической деятельности на основе корпораций. В 2000-е годы научные идеи пространственной экономики стали реализовываться на практике. Появились специальные органы управления развитием ДВ и новые площадки диалога власти и ученых (рис.1).

В 2005 г. Минрегионразвития представило правительству новую «Концепцию стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации», в ней делается акцент на дифференцированном развитии регионов, то есть речь идет уже о фактическом закреплении разных ролей регионов в экономике страны и в территориальной структуре хозяйства. На первый план выдвигается вопрос о приоритетном развитии – то есть государственной поддержке регионов двух типов – «опорных» и «полюсов роста». В политическом дискурсе и экспертном сообществе вновь провозглашается тезис об особой роли Дальнего Востока в обеспечении национальных интересов, что приводит к появлению новой Федеральной программы по развитию Дальнего Востока и Забайкалья. Однако программа 2007 г. оказалась малоэффективной: за пять лет полностью было реализовано лишь 37% предусмотренных мероприятий. Самым наглядным примером являются демографические индикаторы. На рис. 2-6* показаны планируемые индикаторы по росту численности населения, их фактическое выполнение; при этом плановые показатели были невысокими, и как итог – продолжение демографической деградации на Дальнем Востоке.

В 2016 и 2018 гг. программа в целом подвергалась существенной корректировке. Так в редакции постановления Правительства РФ от 9 августа 2016 г. № 757 целевые индикаторы численности населения были на порядок снижены, а цель программы получила более «скромную» формулировку: «Повышение уровня социально-экономического развития Дальнего Востока и Забайкалья; обеспечение потребности в трудовых ресурсах и закрепление населения на Дальнем Востоке»[9, 10]. Важными признаками политического влияния на программный подход к перспективному планированию развития территорий являются установленная властью норма корректировки документов, включение «дальневосточных разделов по опережающему развитию» в 29 государственных программы, расширение числа субъектов РФ с преференциями.

Анализ литературы по теме современного поворота России на Восток показывает, что сегодня власть в лице ученых имеет не только солидный корпус советников в самом хорошем понимании, но и группу критически настроенных оппонентов, которая видит новые риски в новой модели развития территорий в форме ТОРов, специальных экономических зон и реальных достижений в плане повышения статуса Тихоокеанской России в проекте Большая Евразия. Такая экспертная позиция в

* При подготовке рисунков и комментариев использовались материалы д.и.н. Е.Н. Чернолуцкой

условиях неразвитости гражданского общества на территории выполняет также социальную функцию. Одной из современных проблем, требующих активного участия академического сообщества, является дальнейшая аналитическая работа с «Концепцией развития приграничных территорий субъектов РФ, входящих в состав ДВО». Проведенный анализ указывает на малую степень их социального результата.

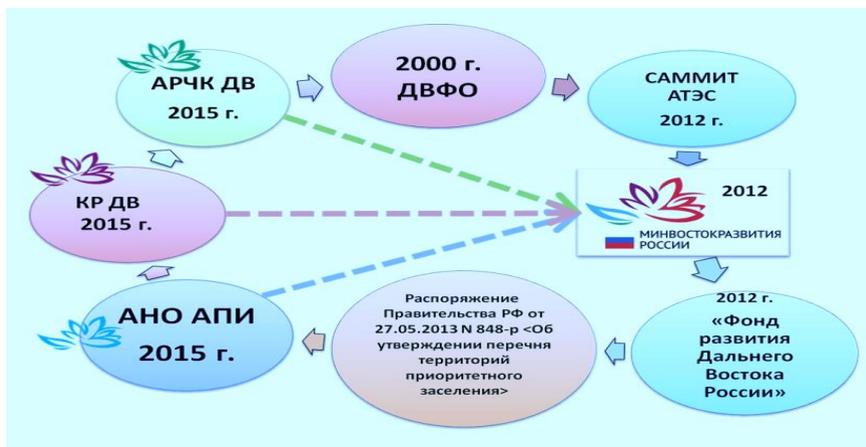


Рис. 1. Институты и инструменты управления и развития Дальнего Востока России

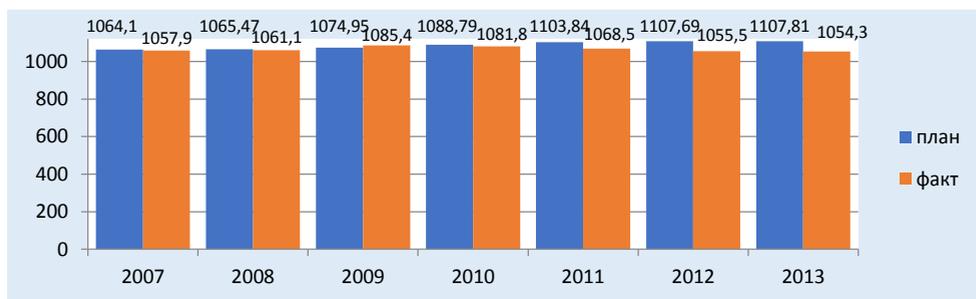


Рис. 2. Проектная (по ФПЦ-2007) и фактическая численность экономически активного населения в Приморском крае в 2007-2013 гг. (тыс. чел.)

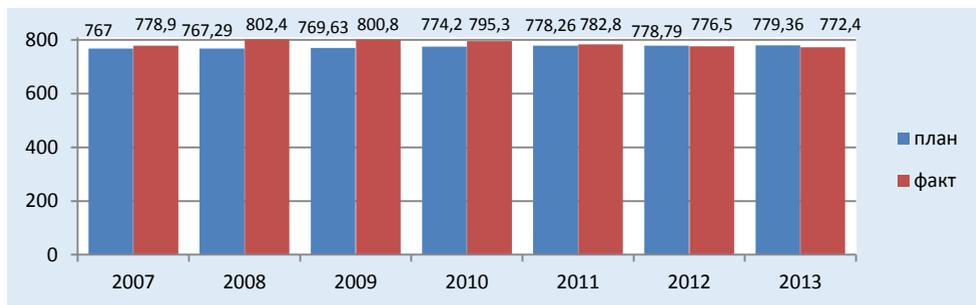


Рис. 3. Проектная (по ФПЦ-2007) и фактическая численность экономически активного населения в Хабаровском крае в 2007-2013 гг. (тыс. чел.)

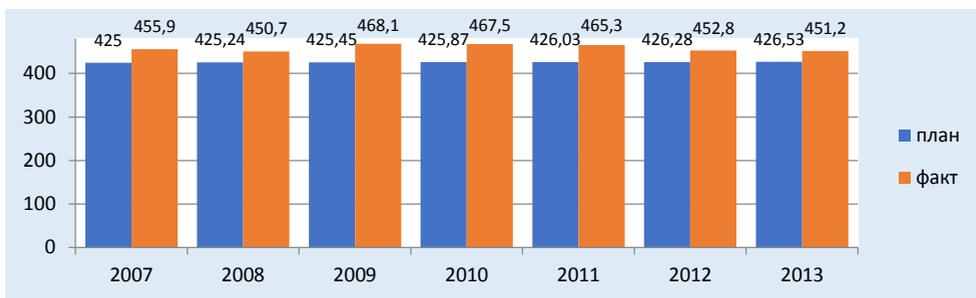


Рис. 4. Проектная (по ФПЦ-2007) и фактическая численность экономически активного населения в Амурской области в 2007-2013 гг. (тыс. чел.)

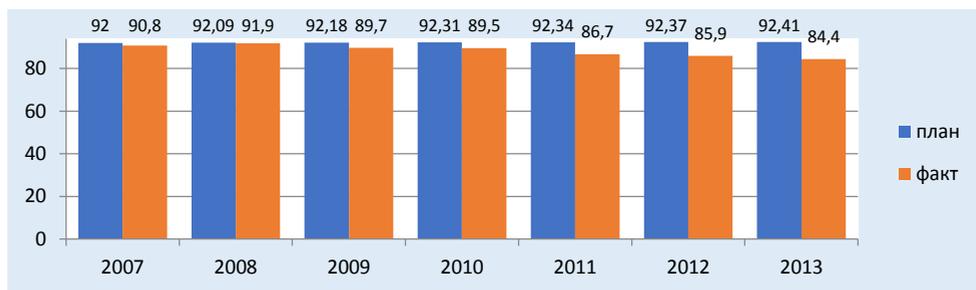


Рис. 5. Проектная (по ФПЦ-2007) и фактическая численность экономически активного населения в Еврейском автономном округе в 2007-2013 гг. (тыс. чел.)



Рис. 6. Проектная (по ФПЦ-2007) и фактическая численность экономически активного населения в регионах Дальнего Востока России в соотношении 2013 г. к 2007 г. (%)

В целом ФЦП, управленческие новации на Дальнем Востоке, при всей практике их корректировок, безусловно, являются вкладом в интеллектуальный и политический багаж опыта планирования, но в контексте общего блага, то есть – создания достойных условий жизни для большинства дальневосточников, на сегодняшний день они еще мало результативны. Опыт последних лет территориального планирования, в том числе дальневосточные практики, отражены в принятом законе РФ 2014 г. «О стратегическом планировании в РФ», и современная задача академического сообщества состоит в анализе его эффективности.

Литература

1. VII Дальневосточная краевая конференция РКП (б). Хабаровск: Далькрайком ВКП (б), 1925. 230 с.
2. *Анимца Е.Г., Аминица П.Е., Денисова О.Ю.* Эволюция научных взглядов на теорию размещения производительных сил. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-nauchnyh-vzglyadov-na-teoriyu-gazmescheniya-proizvoditelnyh-sil> (дата обращения: 12.09.2018).
3. *Бакланов П.Я., Ганзей С.С.* Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008. 216 с.
4. *Балакина Л.П.* Академик В.С. Немчинов о научных проблемах оптимального пространственного размещения производительных сил страны (1949-1963 гг.) // Вестник ЮУрГУ. Серия «Социально-гуманитарные науки». 2013. Т. 13. № 1. С.12-16.
5. *Ващук А.С.* Проблемы управления Дальневосточным регионом в советский и постсоветский периоды // Вестник ДВО РАН. Владивосток, 2013. №1. С. 21-28.
6. *Вебер А.* Теория размещения промышленности. М-Л.: «Старый Петербург», 1926. 223 с.
7. Генеральный план электрификации СССР. Т. 8. Ч. 1. Сводный план электрификации. М-Л.: Государственное социально-экономическое издательство. 1932. 856 с.
8. *Гладышев А.Н., Николаев Н.И., Сингур Н.М., Шапалин Б.Ф.* Экономика Дальнего Востока. Проблемы, перспективы. Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во. 1971. 406 с.
9. Государственная программа РФ «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона» (в ред. пост. Правительства РФ от 9 августа 2016 г. № 757).
10. Государственная программа РФ «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона» (в ред. Пост. Правительства РФ от 30 мая 2018 г. № 362).
11. *Зуева Н.Е.* Переселенческая политика российского правительства на Дальнем Востоке в период столыпинских реформ: Автореф. дисс. ... канд. ист. наук. М.: МГУ, 2016.
12. *Колосовский Н.Н.* Теория экономического районирования. М.: Мысль, 1969. 336 с.
13. *Корф А.Н.* Краткий очерк Приамурского края: по официальным данным. С.-Пб: Военная типография, 1892. 65 с.
14. *Лексин В.Н., Швецов А.Н.* Государство и регионы. М.: УРСС, 2000. 368 с.
15. *Маклюков А.В.* «Дальневосточный ГОЭЛРО»: Из истории планирования электрификации Дальнего Востока в середине 1920-х – начале 1930-х гг. // Ойкумена. 2015. № 4. С.75-83.
16. *Минакир П.А., Демьяненко А.Н.* Очерки по пространственной экономике. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2014. 272 с.
17. *Минакир П.А., Демьяненко А.Н., Рензин О.М., Шейнгауз А.С.* Экономические исследования на Дальнем Востоке России // Пространственная экономика. 2006. № 3. С. 7-33.
18. Мир после войны: дальневосточное общество в 1945-1950-е гг. (История Дальнего Востока России. Т. 3. Кн. 4) / Под. общ. ред. В.Л. Ларина; отв. ред. А.С. Ващук. Владивосток: Дальнаука, 2009. 696 с.
19. *Немчинов В.С.* Теоретические вопросы рационального размещения производительных сил // Вопросы экономики. 1961. № 6. С. 3-15.
20. Общество и власть на российском Дальнем Востоке в 1960-1991 гг. (История Дальнего Востока России. Т. 3. Кн. 5) / Под общей ред. В.Л. Ларина, отв. ред. А.С. Ващук. Изд. 2-е, перераб. Владивосток: Дальнаука, 2018. 904 с.
21. *Тюнен И.Г.* Изолированное государство в его отношении к сельскому хозяйству и национальной экономике / Под ред. А.А.Рыбникова. М.: Экономическая жизнь, 1926. XII. 326 с.
22. *Auty R.* The Political Economy of Resource-Driven Growth (Политическая экономия роста обусловленного ресурсами) // European Economic Review. 2001.
23. *Auty R.* Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis. 1993.
24. *Fujita M., Krugman P., Venables A.J.* The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade. The MIT Press, 1999. 367 p.

В.Л. Ларин¹, С.К. Песцов², А.Б. Волынчук², Е.А. Горячева³
Стратегия и политика государств Тихоокеанской Азии в освоении морских ресурсов Северной Пацифики: вызовы и возможности для России

Введение

Россия обладает огромным морским экономическим потенциалом, эффективное использование которого является сегодня одним из главных трендов развития мировой экономики. Протяженность морских границ РФ составляет более 38 тыс. км, площадь ее морской акватории – свыше 7,5 млн кв. км. Однако грузооборот ее морских портов в 4,5 раза меньше грузооборота китайских и в 2 раза меньше южнокорейских портов, а объем добычи и производства морских биоресурсов – в 14 раз меньше, чем в Китае.

Существенная часть морского пространства России, обладающая большим экономическим потенциалом, относится к региону Тихоокеанской России, официально именуемой Дальневосточным федеральным округом. Его морские границы протянулись на 23 тыс. км (60% морских границ РФ), морская акватория составляет 3,5 млн кв. км (47% морской акватории РФ). На долю региона приходится 60% добычи морских биоресурсов и 24% грузооборота портов России.

Континентально-морское пространство северной части Тихого океана (Северная Пацифика) является ареной экономической деятельности русских еще с 30-х годов ХУП в. С начала XIX столетия, когда это пространство начали активно осваивать США, а затем Япония, оно постепенно превратилось в сферу геополитического и экономического соперничества России с другими державами региона⁴. Тем не менее, как сухопутная, так и морская части этого пространства освоены слабо. Его суровые природно-климатические условия, периферийное и далекое от мировых столиц местоположение предопределили длительное отсутствие интереса к широкомасштабному извлечению богатых, но труднодоступных и дорогих в освоении ресурсов региона. На сегодняшний день серьезное экономическое значение для России имеют лишь разработка нефтегазовых месторождений сахалинского шельфа, да рыбный и крабовый промысел в Охотском море. Прочие сферы морской экономики, включая морской транспорт, развиты, по современным меркам, явно недостаточно. Морской потенциал региона используется слабо, и серьезных усилий по его развитию, если исходить из существующих планов и стратегий российского правительства и профильных министерств, не предпринимается. Между тем соседи России на Тихом океане планомерно и последовательно выстраивают свои стратегии по освоению морских ресурсов Северной Пацифики.

Япония

Береговая линия небольшой по территории Японии протянулась на 35 тыс. км, а ее морская акватория составляет около 4, 5 млн кв. км, что больше сухопутной территории страны почти в 12 раз. 99% внешнеторговых операций Японии

¹ Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, член-корреспондент РАН

² Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, доктор политических наук

³ Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, доктор политических наук

⁴ Подробнее см. Тихоокеанская Россия в интеграционном пространстве Северной Пацифики в начале XXI века: опыт и потенциал регионального и приграничного взаимодействия / под ред. В.Л. Ларина. Владивосток: ИИАЭ ДВО РАН, 2017, с. 40-53.

обеспечивается посредством морских перевозок, а объем добычи природных и искусственно выращенных морепродуктов составляет около 5 млн т.

15 мая 2018 г. японское правительство одобрило новую морскую стратегию страны – «Основной план океанической политики» (海洋基本計画), которая определяет основные приоритеты развития страны на период с 2018 по 2022 гг.¹ Как и предыдущие стратегии, документ определяет две категории приоритетов: в области национальной безопасности и экономики, реализация которых нацелена на становление Японии уже не просто как морской, а как «океанской державы»². Конкретные цели и задачи Стратегии выглядят следующим образом:

Задачи:

- активное освоение ресурсов собственной акватории;
- вхождение в число государств, участвующих в разработке ресурсов Арктического региона;
- снижение ресурсной зависимости от соседних стран Северо-Восточной Азии, в том числе Китая и России.

Пути:

- увеличение ассигнований на освоение трудно извлекаемых ресурсов;
- рост инвестиций в создание инфраструктуры, нацеленной на освоение Арктики, донных месторождений полезных ископаемых в исключительной экономической зоне Японии;
- развитие науки и создание технологий, позволяющих вести добычу полезных ископаемых, особенно редкоземельных металлов, на глубинах свыше 2 тыс. м.

По сравнению с приоритетами второй морской стратегии, сводившимися, главным образом, к развитию морской экономики и освоению ресурсов морского дна, новая стратегия фокусируется на проблемах национальной безопасности: обеспечении безопасности территории страны и обороне отдаленных островных территорий. Основными внешними угрозами новая стратегия называет ракетно-ядерную программу КНДР и морскую экспансию Китая. В то же время значительное место в новой стратегии отводится освоению ресурсов Северной Пацифики, прежде всего находящихся в зоне акватории Японии залежей полезных ископаемых, включая гидротермальные полиметаллические руды, кристаллогидраты метана и прочие энергоресурсы, а также развитие альтернативных источников энергии.

Новая морская стратегия определяет категории полезных ископаемых, представляющих наибольший интерес для Японии:

Кристаллогидраты метана.

Согласно проведенным исследованиям, в морской акватории Японии находится значительные запасы гидратов метана, разработка которых исключительно важна для обеспечения энергетической безопасности страны. По оценкам экспертов³, мировые запасы кристаллогидратов метана составляют сотни триллионов кубических метров, а

¹ Первая морская стратегия Японии была принята в 2008 г. и содержала цели и задачи страны в этой сфере в период с 2008 по 2012 гг., вторая морская стратегия Японии действовала с 2013 по 2017 гг.

² 海洋基本計画 (Основной план океанической политики) // Сайт Кабинета Министров Японии. URL: <http://www8.cao.go.jp/ocean/policies/plan/plan03/pdf/plan03.pdf>.

³ Добились своего. Японская JOGMEC получила 1-ю партию природного газа из гидратов метана // Neftegaz.ru. 2017. 18 мая. URL: <https://neftgaz.ru/news/view/161173-Dobilis-svoego-Yaponskaya-JOGMEC-poluchila-1-yu-partiyu-prirodnogo-gaza-iz-gidratov-metana>; Воробьев А. Е. и др. Экспертная оценка современных мировых запасов аквальных залежей газогидратов // Бурение и нефть. 2011. № 12. URL: <https://burneft.ru/archive/issues/2011-12/1>.

прогнозируемые запасы кристаллогидратов метана у берегов Японии могут составлять от 4 до 20 трлн м³.

В мае 2017 г. компания JOGMEC добыла первую партию газа из месторождений кристаллогидратов метана на шельфе Японии. Министерство экономики, торговли и промышленности Японии планирует в ближайшее время начать проект по коммерческому освоению добычи кристаллогидратов метана, стимулируя в нем участие частных компаний. При этом планируется вести разработку аквамариновых кристаллогидратов метана, залегающих на глубине до 1 тыс. м.¹

Нефть и природный газ.

Правительство Японии планирует с 2019 г. активизировать разведку месторождений традиционных энергоресурсов в акватории Японского моря, используя суда геофизической разведки для проведения высокоточного подводного 3D сканирования (с 2007 по 2017 г. проведено исследование 54,4 тыс. кв. км морской акватории Японии).²

Придонные месторождения полезных ископаемых

Подводные гидротермальные отложения, содержащие медь, свинец, цинк, а также золото и серебро, обнаружены в акватории Окинавы и районе желоба Идзу-Огасавара, который входит в исключительную экономическую зону Японии, и залегают на глубине от 700 до 2 тыс. м. Учитывая опыт освоения подводных гидротермальных отложений такими странами, как Россия, Франция, Китай, Республика Корея, Япония стремится использовать доступные ей ресурсы морского дна. Для этого планируется привлечение частных инвестиций. Однако поскольку существует минимальный объем ресурсов, при котором целесообразна разработка подобных месторождений – 50 млн т, то первым шагом должна стать оценка объемов возможной добычи. В этих целях разработана

Стратегическая инновационная программа «Технология исследования морских ресурсов следующего поколения», нацеленная на поиск месторождений, которые трудно найти по существующей технологии геологической разведки.³

Кобальтоносные корки (на глубинах 800-2400 м), марганцевые конкреции (4-6 тыс. м) и редкоземельные элементы (5-6 тыс. м). Их залежи обнаружены у о. Минамитори и в других районах акватории Японии. Морская стратегия Японии подразумевает добычу этих полезных ископаемых в соответствии со стандартами Международного управления по проблемам морского дна (ISA). В отношении залежей редкоземельных металлов на о. Минамитори планируется развивать технологии глубоководной добычи полезных ископаемых на глубинах свыше 2 тыс. м.

Новая морская стратегия Японии также предполагает активное развитие таких альтернативных источников энергии, как ветроэнергетика, энергия морских волн, приливов, течений. Целью развития данной отрасли является снижение нагрузки на сети электрической генерации, испытывающие серьезные трудности после аварии на станции Фукусима в 2011 г.

Помимо вышеперечисленного, Япония планирует развивать сферу морских перевозок и активно инвестировать в освоение морских биологических ресурсов.

¹ 海洋基本計画 (Основной план океанической политики) // Сайт Кабинета Министров Японии. 2018. 15 мая. URL: <http://www8.cao.go.jp/ocean/policies/plan/plan03/pdf/plan03.pdf> С.36-37.

² 三次元物理探査船「資源」による調査実績 (平成19~29年度) (Результаты исследования специализированного НИС «Сигэн» (2007-2017 гг.) // JOGMEC. URL: <http://www.jogmec.go.jp/content/300353489.pdf>

³ SIP 「次世代海洋資源調査技術」(Технология исследования морских ресурсов следующего поколения) // JAMSTEC. URL: <https://www.jamstec.go.jp/sip/>

Растущий интерес Японии к освоению ресурсов ее морской акватории подтверждается ростом бюджетных ассигнований на эту отрасль. Объем средств, выделяемых правительством на морскую деятельность, увеличится с 543,2 млрд. иен в 2018 г. до 776,1 млрд иен в 2019 г. В том числе предполагается увеличить финансирование геологических изысканий на морском дне с 22,7 до 28,2 млрд иен, проведение реформ в системе управления в рыбообрабатывающей отрасли с 16,4 до 68,9 млрд иен, изучение рыбных запасов и усиление контроля над их использованием – с 4,5 до 16 млрд иен, усиление контроля над рыбной промышленностью – с 14,5 до 25 млрд иен.

Китай

Два обстоятельства – (1) протяженная береговая линия (18 тыс. км) и обширная морская экономическая зона (3 млн кв. км) страны и (2) зависимость ее экономики от морских поставок (80 % импортируемой Китаем нефти, 50 % природного газа и свыше 40 % товаров поступают в Китай морским путем)¹ побуждают руководство КНР вплотную заниматься развитием морской составляющей своей внешней политики. Эти же обстоятельства определяют географическую ориентацию этой политики: она развернута в южном направлении. При этом ее основные принципы применимы в любой части мирового океана.

Морская деятельность уже стала важным полюсом роста национальной экономики КНР и развивается очень активно. В прибрежных провинциях, которые занимают только 14 % территории страны, проживает 40 % населения КНР, а их вклад в ВВП КНР составляет около 60 %. В 2017 г. объем производства КНР в сфере морской экономики составил 7,7 трлн юаней, на нее пришлось 9,4 % ВВП страны. Предприятия морской промышленности предоставили 36,6 млн рабочих мест.²

Китай занимает 1-е место в мире по количеству морских судов и держит более 15% мирового рынка контейнерных перевозок. Семь китайских портов входят в десятку крупнейших контейнерных портов мира.³ В 2017 г. судостроительные верфи страны выполняли, по разным данным, от 42 до 44 % мировых заказов и получили от 42,2 до 45,5% мирового объема новых заказов на строительство судов.⁴

Самой доходной отраслью морской деятельности Китая является сегодня прибрежный туризм, на долю которого в 2017 г. пришлось без малого 19 % от объема производства всей морской экономики страны. Значительно ему уступают морской транспорт (8,1 %) и рыболовство (6 %). Наиболее интенсивно среди отраслей морской экономики развиваются тот же прибрежный туризм (рост на 16,5% в 2017 г.), морская биомедицина и фармацевтика (11%), морской транспорт (9,5%) и морская

¹ Jiang Bao, Li Jian, Gong Chunxia. Maritime Shipping and Export Trade on «Maritime Silk Road» // The Asian Journal of Shipping and Logistics. 2018. Vol. 34, No. 2. P. 83.

² 2017年中国海洋经济统计公报 (Статистический бюллетень Морской экономики КНР 2017) – Официальный сайт Государственного морского управления КНР, http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyjjtjgb/201803/t20180301_60485.html.

³ Review of Maritime Transport 2017. New York and Geneva: United Nations, 2017. Pp. 28, 30, 65. В данном подсчете объединены данные по Китаю и Гонконгу, которые в международной и китайской статистике обычно подаются самостоятельно.

⁴ Морской сектор экономики КНР вырос на 6,9% [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chinapro.ru/rubrics/1/16907/> – Дата обращения: 08.10.2018; China leads in global shipbuilding industry in 2017 – Hellenic Shipping News Worldwide web-site, <https://www.hellenicshippingnews.com/china-leads-in-global-shipbuilding-industry-in-2017/>.

электроэнергетика (8,4%), тогда как в добыче минеральных ресурсов со дна моря наблюдается сокращение¹.

Впервые достаточно пространно основы и стратегические цели морской политики КНР были изложены в «Морской программе Китая на XXI век», опубликованной в 1996 г. Программа нацеливала на создание «благоприятно циркулирующей морской экологической системы», формирование «научной и рациональной системы морского развития», обеспечение поступательного развития морской экономики.² Принятая в мае 2003 г. Госсоветом КНР «Национальная программа развития морской экономики» зафиксировала определенные задачи в развитии таких отраслей морской экономики страны, как рыболовство, морской транспорт, освоение углеводородных ресурсов, судостроение, фармакология и туризм³. Растущее внимание Пекина к морской деятельности хорошо заметно как в последовательном росте числа и объема разделов, посвященных морской экономике в 10, 11 и 12-м пятилетних планах страны, так и в появлении пятилетних планов по развитию рыболовства (2007 и 2011 гг.), полярных исследований (2009 г.), освоению ресурсов в международных водах (2013 г.) и др.

Во втором десятилетии XXI в. фактическое обретение Китаем статуса глобальной державы сопровождалось переходом Пекина к более масштабному видению морского пространства как сферы своих интересов и развития. В ноябре 2012 г. на 18 съезде КПК Ху Цзиньтао поставил задачу «превратить Китай в великую морскую державу» посредством «расширения наших возможностей в освоении морских ресурсов, развития морской экономики, охраны морской экологии, решительного отстаивания прав и интересов Китая на море»⁴. Продолжая избранную линию, на следующем – 19-м съезде КПК (октябрь 2017 г.) Си Цзиньпин предложил «ускорить превращение Китая в великую морскую державу»⁵.

В целях реализации поставленных задач в 2013 г. серьезной реформе подверглась система управления морской деятельностью Китая. Были существенно расширены полномочия Государственного морского управления КНР (国家海洋局), которое в результате стало, по сути, главным организующим и координирующим органом в сфере морской деятельности страны⁶. В апреле того же года был утвержден Государственный план развития морской деятельности на 12-ю пятилетку, пространный документ из 18 разделов, посвященных таким вопросам, как управление морскими ресурсами, охрана и развитие островных территорий, охрана морской

¹ 2017年中国海洋经济统计公报 (Статистический бюллетень Морской экономики КНР 2017), http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyjjtjgb/201803/t20180301_60485.html.

² 中国海洋21世纪议程 (Морская программа Китая на XXI век). URL: http://www.npc.gov.cn/huiyi/lfzt/hdbhf/2009-10/31/content_1525058.htm (дата обращения: 10.09.2018).

³ 全国海洋资源规划纲要 (Национальная программа развития морской экономики). URL: <http://www.china.com.cn/chinese/PI-c/494544.htm> (дата обращения: 09.10.2018).

⁴ 胡锦涛在中国共产党第十八次全国代表大会上的报告 (2012年11月8日) (Доклад Ху Цзиньтао на 18 съезде КПК. 8 ноября 2012 г.) // 人民网版权所有, <http://cpc.people.com.cn/n/2012/1118/c64094-1961>.

⁵ 习近平在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告 (Си Цзиньпин. Доклад на 19 съезде КПК) – http://www.gov.cn/zhuanti/2017-10/27/content_5234876.htm

⁶ Chang Yen-Chiang. Getting into a New Maritime Era?—A Commentary on the Restructuring of the State Oceanic Administration in China // Journal of Oceanography and Marine Research. 2014. Vol. 2. No. 3. Available at: <https://www.omicsonline.org/open-access/getting-into-a-new-maritime-era-commentary-on-the-restructuring-of-the-state-oceanic-administration-in-china-2332-2632.1000126.php?aid=32100>.

экологии и восстановление биоресурсов, защита морских прав и интересов Китая, морские научные исследования и др.¹

Упор Китая на морскую деятельность стал еще более очевидным с провозглашением идеи строительства «Морского шелкового пути XXI века»². Самый первый документ китайского руководства, излагающий его концепцию, так описывает этот маршрут: из морских портов Китая через Южно-Китайское море до Индийского океана и дальше до Европы, а также из китайских портов через Южно-Китайское море в южную акваторию Тихого океана³. Более подробно современные цели и направления морской деятельности Китая изложены в «Концепции сотрудничества на море в рамках инициативы Один пояс и один путь», разработанной Госкомитетом по развитию и реформе и Государственным морским управлением КНР и опубликованной в июне 2017 г. В соответствии с Концепцией, сотрудничество на море должно опираться на приморские экономические пояса Китая и тесное взаимодействие со странами, через которые пролегает Морской Шелковый путь. Его основными направлениями названы:

- обеспечение «зеленого развития»: охрана морских экосистем и «обеспечение глобальной экологической безопасности»;

- освоение морских ресурсов, первым шагом в котором должно стать их глубокое обследование, составление подробного перечня и создание соответствующей базы данных;

- развитие в морской индустрии, в частности, создание «морских индустриальных парков и зон торгово-экономического сотрудничества», «проектирование и освоение морских туристических маршрутов»;

- развитие морского транспорта и его инфраструктуры (порты, правовое регулирование, информационное обеспечение);

- освоение Арктики (научные исследования, СМП, освоение ресурсов);

- обеспечение безопасности мореплавания и морской деятельности в целом;

- изучение океана, создание новых технологий для морской деятельности;

- морское образование.

В мае 2017 г. опубликован План развития морской экономики страны на 2016-2020 гг. В соответствии с этим планом, к 2020 г. предполагается «существенно ускорить кардинальную корректировку структуры и режимов развития морской экономики Китая, координировать развитие морской и материковой зон и обеспечить здоровое и устойчивое развитие морской экономики в контексте реализации концепции «Одного пояса и одного пути»⁴. Приоритетными задачами названы научно-техническое

¹ 国家海洋事业发展“十二五”规划(Государственный план развития морской деятельности на 12 пятилетку). – Сайт Государственного морского управления КНР, http://www.soa.gov.cn/zwggk/fwjgwywj/shxzfg/201304/t20130411_24765.html

² С этой инициативой Председатель КНР Си Цзиньпин выступил в октябре 2013 г. В марте 2015 г. она была представлена как часть глобальной инициативы китайского лидера, получившей название «одного пояса, одного пути», а к настоящему времени проходящей в официальных документах как «Инициатива пояса и пути».

³ 推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动

国家发展改革委 外交部 商务部 (经国务院授权发布2015年3月(Перспективы и действия по продвижению строительства экономического пояса шелкового пути и морского шелкового пути 21 века.

Госкомитет по развитию и реформам, Министерство иностранных дел, Министерство коммерции. Публикация санкционирована Госсоветом КНР. Март 2015 г.) – <http://www.mofcom.gov.cn/article/i/dxfw/jlyd/201601/20160101243342.shtml>.

⁴ 全国海洋经济发展“十三五”规划(Государственный план развития морской экономики КНР на 13 пятилетку). 北京, 国家发展改革委 国家海洋局, 2017. С. 1.

обеспечение морской экономики, развитие международного сотрудничества, увеличение доли сервисных отраслей.

В плане выделены три географических и два функциональных направлений развития морской экономики Китая. Географические зоны включают в себя:

1. Северную: прибрежная зона и морская акватория Ляодунского полуострова, Бохайского залива и полуострова Шаньдун;

2. Восточную: прибрежная зона и морская акватория пров. Цзянсу и Чжэцзян и г. Шанхай;

3. Южную: прибрежная зона и морская акватория пров. Фуцзянь и Гуандун, устье и берега р. Чжуцзян, Тонкинского залива (пров. Гуанси), острова Хайнань.

К функциональным направлениям отнесены:

1. Охрана и развитие островных территорий, «неуклонная охрана ресурсов морских островов и управление их развитием».

2. Освоение глубоководного пространства: изучение и оценка морских биоресурсов и морского дна в международных водах, активизация подачи заявок на рудничные участки, разработка глубоководной техники, расширение международного сотрудничества по этим направлениям¹.

План содержит небольшое количество индикаторов, на которые обязаны ориентироваться его исполнители. В частности, предполагается увеличить долю морской экономики в экономике КНР с 9,4 до 9,5%, долю внедрения результатов НИР с 50 до 55%, число научных и образовательных объектов с 206 до 400².

Особое внимание в Плане уделено развитию морских наук и специальных технологий, созданию, а также внедрению научно-технических разработок. В частности, предусматривается разработка глубоководных подводных аппаратов и буровых установок, глубоководной станции для освоения минеральных ресурсов на дне моря, плавучих атомных станций, оборудования для выращивания глубоководной марикультуры; новых технологий для производства лекарственных препаратов, экологически чистых и высокотехнологичных судов и прочей морской техники.

Свои интересы демонстрируют в области морской экономики провинции Китая, в том числе не имеющие выхода к морю. Особый интерес для России представляют инициативы пров. Цзилинь, уже более столетия добивающейся прямого выхода к Японскому морю. В феврале 2018 г. пров. Цзилинь подписала рамочное соглашение о стратегическом сотрудничестве с Морским управлением КНР, целью которого является «пробить канал из пров. Цзилинь к морю, развивать экономику, ориентированную на море, и содействовать экономическому развитию Северо-Востока»³. В провинции Цзилинь выдвинута идея создания «Китайско-российского морского экономического коридора» с выходом на российские порты в Приморском крае, Северный морской путь и предусматривающая «эффективную стыковку» Транссибирской магистрали с этим морским экономическим коридором⁴.

¹ Там же. С. 7-16.

² Там же. С. 6.

³ 国家海洋局与吉林省人民政府签署战略合作框架协议(Государственное океанографическое управление и народное правительство провинции Цзилинь подписали рамочное соглашение о стратегическом сотрудничестве) – 国家海洋局网站 (Сайт Государственного морского управления КНР), http://www.soa.gov.cn/xw/hyyw_90/201802/t20180227_60463.html.

⁴ 图们江学会召开‘中俄海洋经济走廊建设研究’课题研讨会 (Туманганское общество провело проблемный симпозиум «Изучение создания китайско-российского морского экономического коридора») – 中华人民共和国商务部网站 (Сайт Министерства коммерции КНР), 2017-04, <http://www.mofcom.gov.cn/article/difang/201704/20170402565788.shtml>.

Параллельно прорабатываются возможности прямого выхода на глубоководный северокорейский порт Раджин.

Таким образом, хотя преимущественно южная ориентация морской политики Пекина не предполагает активного взаимодействия с Москвой, в том числена просторах Тихого океана, однако конкретные направления морской деятельности КНР неизбежно соприкасаются с интересами и политикой России. И, прежде всего, это касается морской экономики и экологии.

Южная Корея

Береговая линия небольшой по территории Республики Корея составляет около 8,6 тыс. км, что связано, в том числе, с тем, что в ее владениях находится 3 579 островов. Морскую индустрию страны составляют девять секторов, включая строительство, ремонт судов и морских объектов (43,9%), судоходство и портовые услуги (38,7%), морской туризм, рыболовство, переработку и дистрибьюцию рыбной продукции. Почти 18 тыс. компаний и св. 200 тыс. чел. связаны с морской отраслью, из которых около 40% заняты в судостроении и портовом хозяйстве.¹ Судостроение дает 15% объема экспорта страны.

Три южнокорейские судоходные компании – Hyundai Merchant Marine (HMM), STX Pan Ocean и Korea Line Corporation (KLC) – входят в число 20 ведущих операторов контейнерных перевозок в мире. До недавнего времени их было четыре, но в 2017 г. Hanjin Shipping (Hanjin) прекратила свое существование по причине банкротства. Крупнейшими портами Южной Кореи являются Пусан, Кванъян и Инчхон. Пусан, обладая пропускной способностью более 16 млн TEU, входит в двадцатку крупнейших контейнерных терминалов мира².

Сектор рыболовства относительно невелик и дает лишь 0,2% ВВП страны. Но при этом ежегодно в Корее добывают и выращивают морепродукты общим объемом 3,7 млн т. Около половины этого производства приходится на марикультуру, треть – на рыболовство в прибрежных водах и оставшаяся часть – на рыболовство в удаленных водах³.

В настоящее время ведущие отрасли морской экономики Южной Кореи испытывают серьезные трудности в своем развитии. В частности, судостроение и морские перевозки сталкиваются с проблемой значительных избыточных мощностей, возникшей вследствие значительного повышения производительности верфей и чрезмерных предшествующих инвестиций в отрасль; растет конкуренция со стороны китайских и японских соперников; возникают технологические проблемы, связанные с переносом приоритетов в рамках судостроительной отрасли Южной Кореи на сооружение глубоководных нефтяных буровых установок; сказывается падение цен на нефть и сокращение проектов по ее морской разведке и добыче; растут затраты на рабочую силу и топливо, существенно увеличивающие эксплуатационные расходы. По подсчетам Министерства океанов и рыболовства (МОФ), объемы контейнерных перевозок Южной Кореи упали с 1,05 млн т в августе 2016 г. до 400 тыс. т в октябре

¹ S. Korea's Maritime Industry Shrinks in 2016: Data // <http://english.yonhapnews.co.kr/news/2018/03/29/0200000000AEN20180329008400320.html>

² Review of Maritime Transport 2012. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 2012 // <http://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=380>, retrieved 9.9.2013.

³ Korea's Fisheries Sector Assessment. Report. Seoul: W-WF-Korea, 2016. - 78 p.

2017 г.¹ В 2016 г., годовой оборот морской отрасли страны составил 109,7 млрд долл. США, что на 7,9% меньше, чем годом ранее².

Серьезными проблемами в сфере рыболовства стали старение населения, урбанизация, сокращение рыбных запасов, незаконное и неконтролируемое рыболовство в прибрежных и дальних водах, недостаточная прозрачность рыбного рынка в стране и в сфере международной торговли.

С целью решения накопившихся проблем в 2018 г. Министерство океанов и рыболовства РК опубликовало новую стратегию развития морской экономики страны³. Эта стратегия предполагает:

1. Осуществление ряда мер для развития судоходной отрасли:
 - a. Принятие пятилетнего плана восстановления судоходной отрасли;
 - b. Внедрение эффективные операционные программы развития судоходства;
 - c. Обеспечение качественного роста отрасли на основе взаимодействия между судоходными и судостроительными предприятиями, судовладельцами и грузоотправителями.
2. Совершенствование системы управления портами и построение глобальных логистических сетей посредством:
 - a. Реформирования операционных систем портов;
 - b. Формирования международных логистических сетей;
 - c. Построения стабильной пропускной способности портов;
 - d. Развития качественных человеческих ресурсов в судоходных и портовых отраслях.
3. Строительство опорных пунктов логистики путем расширения инфраструктуры портов за счет:
 - a. Укрепления конкурентных преимуществ в глобальных портовых отраслях;
 - b. Развития опорных пунктов портов в основных регионах;
 - c. Формирования более крупных систем поддержки корейского бизнеса за рубежом.

Одновременно Южная Корея активно пытается развивать новые отрасли, связанные с морем. Одной из таких отраслей является морская биотехнология. В 2004 г. Министерство по морским делам и рыболовству начало реализацию проекта «Marine Bio 21», в рамках которого был создан ряд исследовательских центров морской биотехнологии. Основными направлениями их работы стали использование биотехнологии для восстановления рыбных ресурсов, передовая аквакультура, использования морской биоты, создание новых биоактивных веществ и биоматериалов. В целях дальнейшего развития направления разработан стратегический план Blue-Bio - 2016⁴.

В качестве еще одной перспективной сферы рассматривается энергетика. В стране действует стратегический «План развития чистой энергии океана 2015 - 2025». План

¹Xiaolin Zeng. Seoul Unveils Five-Year Plan to Save Its Maritime Sector // <https://fairplay.ihs.com/commerce/article/4299771/seoul-unveils-five-year-plan-to-save-its-maritime-sector>.

²S. Korea's Maritime Industry Shrinks in 2016: Data // <http://english.yonhapnews.co.kr/news/2018/03/29/0200000000AEN20180329008400320.html>.

³Year 2018 – the very first year to take shipping & port industries forward // Сайт Министерства океанов и рыболовства. <http://www.mof.go/eng/content/view.do?menuKey=763&contentKey=229>.

⁴См.: Marine Biotechnology in Korea // Marine Biotechnology ERA-NET, http://www.marinebiotech.eu/wiki/Marine_Biotechnology_in_Korea.

был разработан Министерством океанов и рыболовства (MOF) и Министерством торговли, промышленности и энергетики и одобрен Национальным советом по науке и технологиям. Основными его задачами являются создание соответствующей программы поддержки НИОКР и поиск более эффективных путей использования энергии океана¹.

Учитывая мировые тенденции и интересы развития страны, правительство Южной Кореи сформулировало новую стратегическую цель: превратить РК в центральное звено морской сферы Восточной Азии, транспортный, финансовый и судостроительный центр региона.

Вызовы и возможности для России

Таким образом, сравнительный анализ подходов и политики государств Тихоокеанской Азии к освоению мирового океана в целом и зоны Северной Пацифики, в частности, позволяет сформулировать некоторые вызовы для России, чьи интересы, безусловно, пересекаются с интересами ее соседей на Тихом океане. Среди таких вызовов главными являются:

- Общее отставание в стратегическом проектировании, регулировании морской деятельности и морском пространственном планировании;
- Конкуренция в сфере морских перевозок и портового хозяйства;
- Конкуренция в освоении ресурсов (в т.ч. донных и глубоководных) в международных водах;
- Знания и технологии: отставание в развитии;
- Арктика: столкновение подходов к ее освоению.

Вместе с тем, у России существуют и немалые возможности в контексте тенденций глобального развития «голубой экономики» и тех преимуществ, которыми она сегодня обладает. В частности, такими очевидными возможностями являются:

- Освоение огромного потенциала собственной акватории в Северной Пацифике
- Расширение международной кооперации в сфере морской экономики, науки, образования
- Укрепление конкурентных преимуществ в морской деятельности
- Развитие морского и прибрежного туризма.

Сопоставление вызовов и возможностей позволяет сформулировать конкретные задачи России в контексте стратегии ее научно-технической деятельности. К числу основных, по нашему мнению, относятся:

- Максимально полный учет и оценка ресурсов морской акватории Тихого океана и восточного сектора Арктики. Определение, с учетом опыта соседей по региону, собственных конкурентных возможностей и ограничений, наиболее перспективных направлений деятельности в сфере морской экономики и сфер налаживания кооперационных взаимодействий с соседями по региону.
- Разработка концепции развития дальневосточного кластера морской экономики как одной из составляющих общей программы развития Дальнего Востока, интегрирующей существующие производственные, транспортные, логистические и образовательные структуры и обеспечивающей их согласованное развитие
- Создание, в качестве первого шага, регионального координационного центра для оценки общих перспектив Тихоокеанской России в развитии морской экономики и концептуального оформления национальной стратегии действий.

¹ Keyyong Hong. Republic of Korea. In: Annual Report. Ocean Energy System 2015. Lisbon: The Executive Committee of Ocean Energy Systems, 2016. P. 95.

Увеличение доли морской экономики в ВРП ДВФО за счет научного и технологического обеспечения развития отраслей (проект ДВО РАН «Гидрокосмос»), в т.ч. создание новых технологий для освоения шельфа и морских глубин.

Н.В. Ломакина¹

Минеральный сектор в стратегии развития Дальнего Востока

Постановка проблемы

На протяжении практически всего периода освоения Дальнего Востока минеральный сектор являлся отраслью национальной специализации и «ядром» стратегических программ развития региона. В конце 2013 г. Министерством по развитию Дальнего Востока была предложена «новая модель» с иной целевой задачей развития региона: «Дальний Восток должен стать конкурентоспособным регионом с диверсифицированной экономикой, в структуре которой преобладают высокотехнологичные производства с высокой добавленной стоимостью». По сути, было продекларировано желание ухода от «сырьевой экономики».

В декабре 2016 г. была утверждена обновленная «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (НТР РФ)...», в которой предусмотрено формирование национальной модели инновационного развития РФ на основе трансформации «сырьевой» экономики в «экономику знаний». Правда, при этом все же среди целевых результатов Стратегии НТР РФ-2016 обозначено и «технологическое обновление традиционных для России отраслей экономики», т.е. освоение природных ресурсов остается источником средств для инновационной трансформации национальной экономики.

Таков сегодня «национальный фон», создающий определенные вызовы для прогнозного развития минерального сектора Дальнего Востока как ядра регионального экономического комплекса. Каковы наиболее важные мировые тренды, определяющие перспективы развития минерального сектора? Для мировой экономики по-прежнему характерен опережающий рост металлоемкости мирового ВВП, но со смещением качества роста в сферу более высокотехнологичных отраслей промышленности, что определяет высокую долю потребления редких металлов и редкоземельных элементов. Так, если в период 2000-2015 гг. темпы роста численности населения составляли 1,3%, ВВП - 3,2%, а добычи традиционных металлов ок. 5%, то темпы роста производства редких и редкоземельных элементов были более 10% в год. По прогнозу ОЭСР в 2011-2060 гг. темпы роста ВВП ожидаются на уровне 2,8%, сырьевого потребления в целом - 1,5%, но при этом прогнозируется повышенное потребление минерального сырья (в строительстве и высокотехнологичных отраслях). Все это поддерживает конкуренцию за доступ к ресурсам недр как важнейшему источнику сырьевого обеспечения индустриального и постиндустриального развития мирового сообщества и увеличение объема работ по разведке, добыче, переработке минерального сырья в мировом масштабе.

Все эти вызовы – мировые, национальные, региональные – определяют правомерность постановки вопроса о возможностях и ограничениях перспективного развития минерального сектора Дальнего Востока. Каковы наиболее важные

¹ Институт экономических исследований ДВО РАН, доктор экономических наук

характеристики развития этого комплекса в результате реформенных трансформаций последних десятилетий? Является ли минеральный сектор конкурентоспособным в условиях реализации «новой модели» развития Дальнего Востока? Каковы возможности и стратегические условия перспективного развития минерального сектора Дальнего Востока?

1. Минеральный сектор Дальнего Востока: результаты трансформаций реформенного периода

Что касается структуры минерально-сырьевого комплекса Дальнего Востока (МСК ДВ), то она существенно отличается от среднероссийской (как и от структуры этого комплекса в других федеральных округах) (табл. 1).

Различна эта структура и внутри Дальневосточного федерального округа (ДФО). Только в Сахалинской области преобладает «углеводородная» структура добычи полезных ископаемых (ДПИ), совпадает со средней по ДФО структура ДПИ в Якутии и Приморском крае. Для остальных же субъектов РФ в Дальневосточном федеральном округе характерно преобладание в общей структуре добычи драгоценных металлов.

Таблица 1

Структура отгруженной продукции по виду экономической деятельности
«Добыча полезных ископаемых», 2016 год, %

Субъекты РФ	Добыча топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)	Добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических
Российская Федерация	86,7	13,3
Дальневосточный федеральный округ	54,7	45,3
Республика Саха (Якутия)	40,3	59,7
Камчатский край	8,2	91,8
Приморский край	57,8	42,2
Хабаровский край	14,9	85,1
Амурская область	4,1	85,9
Магаданская область	1,2	98,8
Сахалинская область	98,8	1,2
Чукотский автономный округ	0,9	99,1

Источники: Рассчитано с использованием официальных данных Росстата.

Что касается динамических и структурных изменений¹ в части отраслевой специализации МСК ДВ, произошедших в период 1990-2015 гг., то наиболее важными стали следующие:

- существенно снизились (в натуральном выражении) объемы добычи руд металлов: вольфрам (43,3% в 2015 г. к 1990 г.), свинец (37,3%), цинк (21,4%), олово (9%) и медь (7%);
- начали формироваться новые отраслевые специализации МСК ДВ: никель и кобальт (Камчатский край), добыча и обогащение железных руд (Амурская область и Еврейская автономная область);

¹ Более детально эти вопросы рассмотрены в работе: Ломакина Н.В. Реформенные трансформации и их результаты в минеральном секторе Дальнего Востока // Пространственная экономика. 2018. № 1. С. 59–82. DOI: 10.14530/se.2018.1.059-082.

- укрепилась роль драгоценных металлов в качестве «структурного лидера» минерального сектора Дальнего Востока: объемы добычи золота в 2015 г. составили 111% к 1990 г. (преодолев ситуацию критических провалов в течение рассматриваемого периода), добыча серебра возросла более чем в 6 раз;
- изменилась внутренняя структура золотодобычи в регионе: если в 1990-е годы преобладающей была добыча из россыпных месторождений, то уже после 2010 г. более 70% золота добывается из коренных месторождений;
- возросла технологическая доступность ресурсной базы золотодобычи в ДФО за счет входа в регион крупных компаний.

Однако, при наличии целого ряда позитивных изменений, отраслевая структура МСК существенно сузилась и усилился моносырьевой характер минерального сектора Дальнего Востока.

Пространственная диверсификация в минеральном секторе Дальнего Востока в рассматриваемый период (1990-2016 гг.) характеризуется следующими трендами:

- *Территориальная структура МСК ДВ*: сохранилась роль северных регионов (Якутия, Магаданская область и Чукотский АО) – по-прежнему здесь производится 4/5 продукции комплекса; в южной зоне произошли существенные внутризональные изменения - резкое снижение доли Приморского края (в 6,4 раза) при росте вклада Хабаровского края (в 1,3 раза) и Амурской области (в 1,2 раза).

- *Роль МСК в экономике субъектов РФ*: возросла концентрация МСК в промышленности Магаданской области и Чукотского АО – с 55-56% до 84-88%. Значительный рост этого показателя в Амурской области (с 12,5 до 44,9%) и в Хабаровском крае (с 4,8 до 15-17%) указывает на структурные изменения в относительно диверсифицированных промышленных комплексах этих субъектов РФ.

- *Формирование новых территорий с минерально-сырьевой специализацией*: в 2016 г. доля МСК в структуре промышленной продукции составила в Камчатском крае 16,4%, в Еврейской автономной области – 13,3% (с коэффициентами локализации относительно среднероссийского 5,5 и 4,4 соответственно).

- *Доля МСК в структуре промышленности в ДФО*: рост с 14-15% в 1990-х гг. до почти 30% к 2016 г.

При этом следует отметить, что стратегическая роль минеральных ресурсов Дальнего Востока в национальном МСК не претерпела существенных изменений: «экономическое лицо» региона по-прежнему определяет развитие минерально-сырьевого комплекса (табл. 2).

Таблица 2

Стратегическая роль минеральных ресурсов Дальнего Востока
в национальном минерально-сырьевом комплексе

Вид минеральных ресурсов	Доля в МСК РФ (2005 г. / 2015 г.), %		
	Добыча	Разведанные запасы	Прогнозные ресурсы
Золото	40,0 / 44,0	32,9 / 33,0	45,0 / 45,0
Серебро	60,0 / 65,0	32,9 / 35,0	45,0 / 100,0
Олово	100,0 / 99,0	95,2 / 92,0	100,0 / 100,0
Вольфрам	67,6 / 79,0	23,9 / 23,0	60,0 / 60,0

Источники: Рассчитано с использованием официальных государственных докладов Минприроды России.

Как уже указывалось, в рамках «новой модели» обозначено желание ухода от «сырьевой экономики», которую на Дальнем Востоке практически весь период

освоения региона формировали отрасли его национальной специализации, и прежде всего минерально-сырьевой комплекс. Новая политика формирует и новые вопросы:

- Остается ли минеральный сектор Дальнего Востока инвестиционно привлекательным в условиях реализации «новой» политики государственного стимулирования инвестиционной активности на Дальнем Востоке?
- Необходимо ли государственное стимулирование инвестиционной активности для МСК ДВ?
- Является ли минеральный сектор объектом приложения особых преференциальных мер?
- Каковы ожидаемые отклики в экономике региона при реализации таких режимов в минеральном секторе?

2. Минеральный сектор в рамках «новой модели» развития Дальнего Востока

Ключевыми механизмами новой модели развития Дальнего Востока, оказывающими существенное влияние на минеральный сектор, стали:

1. Государственная поддержка наиболее готовых инвестиционных проектов, практическая реализация которых способна дать значимый для развития Дальнего Востока эффект.

2. Формирование территорий с особым экономическим режимом (ТОР, СПВ).

3. Создание налоговых преференций вне специальных территорий (РИП).

Что касается первого из обозначенных механизмов – господдержки инвестпроектов, то ключевыми требованиями при их отборе были: соответствие целям стратегических документов; уровень частных инвестиций не менее 1 млрд. рублей, необходимость государственной поддержки в форме бюджетных инвестиций для создания или модернизации объектов инфраструктуры. Результаты отбора проектов в 2016-2017 гг.: из более чем 50 рассмотренных утверждено для господдержки 13 проектов, в т.ч. 8 – в добыче полезных ископаемых. Это проекты по добыче и обогащению угля – 2 (Якутия, Хабаровский край), добыче золота – 4 (Якутия, Амурская, Магаданская и Камчатская области), алмазов (1) и железной руды (1) в Якутии. При этом субсидии из федерального бюджета в эти проекты превысили 90% всех бюджетных средств, предназначенных на эти цели в рассмотренный период.

Отклик экономических агентов в минеральном секторе на другие преференциальные режимы¹ показан в табл. 3. Представленная в таблице информация дает некоторое представление об «откликах» минерального сектора Дальнего Востока на предложенные государством преференциальные меры. К настоящему времени более 70 минеральных проектов различного уровня и масштаба претендуют на государственную поддержку через различные преференциальные режимы. Востребованы практически все направления господдержки во всех дальневосточных субъектах РФ. Естественно, что наиболее востребованы льготы в основных сырьевых районах (Якутия, Колыма, Чукотка), где минерально-сырьевой комплекс формирует существенную часть региональных бюджетов соответствующих субъектов РФ.

Если вернуться к исходным задачам специальных стимулирующих мер, реализуемых государством на Дальнем Востоке, то одной из важнейших является рост инвестиционной активности в регионе. Как показал анализ, минеральный сектор на протяжении уже многих лет является одним из драйверов инвестиционной активности в регионе (табл. 4).

¹ Более подробно рассмотрены эти вопросы в работе: Ломакина Н.В. Государственное стимулирование инвестиций в минерально-сырьевые проекты: дальневосточный вариант // Регионалистика. 2018. Т. 5. № 4. С. 14-23. DOI: 10.14530/reg.2018.4.14

Таблица 3

Инвестиционные проекты в минерально-сырьевом комплексе Дальнего Востока, использующие льготные (преференциальные) налоговые режимы

Субъекты РФ	Количество минерально-сырьевых проектов (в разрезе особых режимов*)				Итого по субъектам РФ
	ОЭЗ	ТОР	СПВ	РИП	
Республика Саха (Якутия)		4		7	11
Камчатский край				3	3
Приморский край		1	14	-	15
Хабаровский край		4		2	6
Амурская область		1		-	1
Магаданская область	21			-	21
Сахалинская область				2	2
Еврейская автономная область		1		2	3
Чукотский автономный округ		8		1	9
Итого по ДФО	21	19	14	17	71

*Преференциальные режимы: ОЭЗ – особая экономическая зона; ТОР - территория опережающего социально-экономического развития; СПВ – Свободный порт Владивосток; РИП – региональный инвестиционный проект.

Источники: Реестр резидентов территорий опережающего социально-экономического развития (ТОР). – URL: <http://erdc.ru/upload/reestr-tor.pdf> (дата обращения: 07.08.2018); Реестр резидентов Свободного порта Владивосток (СПВ). - URL: <http://erdc.ru/upload/reestr-spv.pdf> (дата обращения: 07.08.2018).

Таблица 4

Инвестиционная активность МСК ДФО

Группы регионов		Доля инвестиций в ДПИ в общей структуре инвестиций в основной капитал, %	
		2005	2016
Средние показатели	РФ	13,4	19,3
	ДФО	21,0	39,3
Группа 1	Приморский край	3,1	1,8
	Хабаровский край	3,1	8,8
	Амурская область	6,4	5,5
Группа 2	Республика Саха (Якутия)	45,5	51,2
	Магаданская область	14,1	69,5
	Сахалинская область	30,1	71,4
	Чукотский АО	0,3	36,4
Группа 3	Камчатский край	4,4	21,9
	Еврейская автоном. область	0,3	36,4

Источники: Рассчитано с использованием официальных данных Росстата.

Прежде всего, следует отметить, что если на уровне РФ в рассматриваемый период (2005-2016 гг.) доля инвестиций в добычу полезных ископаемых (ДПИ) в общей структуре инвестиций в основной капитал возросла в 1,44 раза (достигнув почти 20% всех инвестиций), то для ДФО в целом этот рост составил 1,87 раз (обеспечив достижение почти 40% доли ДПИ в общем объеме инвестиций в основной капитал).

Безусловно, эти оценки существенно разнятся по отдельным дальневосточным субъектам РФ. Поэтому мы выделили три группы регионов относительно их сырьевой специализации. В первую группу с условным названием «Диверсифицированная экономика» вошли три дальневосточных региона, в которых роль минерального сектора достаточно высока (в том числе и для национальной экономики), но не являлась определяющей в региональной экономике.

В эту группу включены Приморский и Хабаровский края, Амурская область. В рассматриваемом периоде доля инвестиций в минеральный сектор в их общем объеме существенно снизилась только в Приморском крае, в Амурской области и в Хабаровском крае преимущественно демонстрировала активный рост. В группе дальневосточных регионов с традиционной минерально-сырьевой специализацией (Якутия, Магаданская и Сахалинская области, Чукотский автономный округ) доля инвестиций в сырьевой сектор в рассматриваемый период росла, что обеспечило и соответствующий рост концентрации этого вида деятельности в общей структуре промышленности. Существенный рост доли инвестиций в минерально-сырьевой комплекс в общей структуре инвестиций в основной капитал в 2005-2016 гг. отмечен также в Камчатском крае и в Еврейской автономной области, что выводит и эти субъекты РФ в регионы с минерально-сырьевой специализацией.

Таблица 5

ВЭД «Добыча полезных ископаемых»
в структуре экономики и промышленности Дальнего Востока, %

Территории	ДПИ в структуре экономики		ДПИ в структуре промышленности	
	2005	2016	2005	2016
РФ	12,8	10,9	22,5	23,1
ДФО	14,9	28,2	45,5	64,3
Республика Саха (Якутия)	39,5	51,5	77,6	85,4
Камчатский край	3,9	7,7	4,4	21,9
Приморский край	1,6	1,3	9,4	6,4
Хабаровский край	4,7	5,7	17,4	21,5
Амурская область	5,3	15,9	24,9	51,1
Магаданская область	27,1	38,9	69,0	85,2
Сахалинская область	22,1	53,9	65,8	90,5
Еврейская автоном. область	0,5	2,2	0,3	36,4
Чукотский автоном. округ	7,5	50,1	41,2	88,7

Источники: Рассчитано с использованием официальных данных Росстата.

Приведенная динамика позволяет, на наш взгляд, сделать следующие выводы:

1) и для ДФО в целом, и для большинства дальневосточных субъектов РФ инвестиции в добычу полезных ископаемых составляют, по сути, основу инвестиционной активности в регионе;

2) такая структура инвестиций не только закрепляет сырьевую специализацию отдельных дальневосточных регионов, но и «работает» на формирование будущего «сырьевого» образа экономики (табл. 5).

В этих условиях вполне закономерным становится вопрос о том, насколько необходимым является государственное стимулирование инвестиций в минерально-сырьевые проекты на Дальнем Востоке?

В целом, в рамках «новой модели» развития Дальнего Востока МСК подтвердил свою конкурентоспособность как для частных инвесторов, так и для государств.

Минерально-сырьевые проекты «де-факто» признаны соответствующими стратегическим целям развития региона и создающими в регионе максимальный социально-экономический эффект. Минерально-сырьевой комплекс остается ключевым в структуре экономики ДВ, в т.ч. и на перспективу. Поэтому вполне правомерным является вопрос о том, обеспечены ли условия стратегического развития минерального сектора Дальнего Востока?

3. Стратегические условия перспективного развития минерального сектора Дальнего Востока

Существующая модель государственного стимулирования развития минерального сектора Дальнего Востока в настоящее время выглядит следующим образом:

Воспроизводство минеральных ресурсов
Добыча минеральных ресурсов
Переработка минеральных ресурсов
Конечное потребление минеральных ресурсов

Государственное стимулирование оказывается фактически направленным на поддержку стадии воспроизводственного процесса «Добыча минеральных ресурсов (МР)». Это как минимум предполагает, что со всеми остальными стадиями все в порядке, в т.ч. и с воспроизводством минеральных ресурсов. Однако, как показывает анализ лишь одной группы показателей – доли распределенного фонда в запасах (табл. 6), значительная часть «минерального богатства» региона уже передана недропользователям. С одной стороны, это подтверждает конкурентоспособность минерального сектора, с другой – показывает ограничения его ресурсной базы для долгосрочного развития. Это же подтверждается и долей распределенного фонда в прогнозных ресурсах по ключевым видам полезных ископаемых в ДФО (по оценке ВИМС, 2017, ВЭФ, Владивосток): вольфрам 50,2 %; олово 55,3%; железные руды 59,9%; серебро 65,6%; золото 69,7%; алмазы 72,9%; медь 86,8%.

Такие оценки требуют формирования ключевых условий долгосрочной конкурентоспособности минерального сектора Дальнего Востока¹, как минимум, в следующих направлениях:

- *Воспроизводственные*: поддержание непрерывности воспроизводственного цикла МСБ с усилением роли государства на ранних стадиях ГРР.
- *Технологические*: с прикладными и внедренческими задачами «справляются» крупные компании; фундаментальные вопросы требуют активной работы в институтах РАН и др. НИЦ.
- *Институциональные*: изменение направленности преференциальных режимов «новой модели» развития ДВ с господдержки добычи минеральных ресурсов на их воспроизводство.

Прогнозные варианты и условия перспективного развития минерального сектора Дальнего Востока обоснованы в Программе фундаментальных исследований ДВО РАН «Тихоокеанская Россия-2050» (Подпрограмма «Минеральное сырье: ресурсы и технологии»)². Выявлены новые ресурсно-технологические ниши для долгосрочного

¹ Эти вопросы исследуются в работе: N. Lomakina. Forming long-term competitiveness of a mineral sector as part of economy innovative development strategy. E3S Web of Conferences 56, 04010 (2018). VII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources”. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185604010>.

² Синтез научно-технических и экономических прогнозов: Тихоокеанская Россия - 2050 / под ред. П.А. Минакира, В.И. Сергиенко. Владивосток : Дальнаука, 2011, 912 с.

конкурентного развития МСК ДВ на основе результатов фундаментальных и прикладных исследований в ДВО РАН:

- освоение новых видов минеральных ресурсов (МР) и формирование новых видов экономической деятельности (отраслей МСК) в регионе;
- освоение новых источников сырья для традиционных отраслей МСК;
- формирование новых горнопромышленных районов на территории Дальнего Востока.

Были выявлены возможности освоения новых видов минеральных ресурсов и формирования новых подотраслей в минеральном секторе Дальнего Востока в долгосрочной перспективе (до 2050 г.):

- Освоение объектов с высокими концентрациями *редкоземельных и радиоактивных элементов* (в Магаданской и Сахалинской областях, на Курилах, севере Хабаровского края и в Якутии).
- Освоение сырьевой базы *никеля* (с комплексом попутных компонентов) для формирования новой подотрасли МСК на Востоке России (Джугджуро-Становая и Камчатская никеленосные провинции).
- Получение *алюминия, кремния* и их соединений из различных видов алюмосиликатного и силикатного сырья (АмНЦ).
- Использование некоторых марок *бурых углей* месторождений Амурской и Магаданской областей как *химического сырья* для получения воска и гуминовых препаратов.

Кроме того, при сохранении традиционных отраслей (золото, серебро и др.) в структуре МСК Дальнего Востока, были обоснованы новые источники сырья для их долгосрочного развития:

- *Изучение металлоносности углеродистых пород* (графитовые месторождения Приморского и Хабаровского краев, Еврейской автономной области; дооценка перспектив платиноносности золотых руд черносланцевых месторождений Северо-Востока с разработкой технологической схемы попутного извлечения металлов платиновой группы при переработке золотых руд);
- *Исследования по коренной платине* - Камчатка, Сихотэ-Алинь, Джугджуро-Становая провинция;
- Извлечение благородных металлов и редких элементов из твердого металлоносного органического сырья (*бурые угли*)
- Разработка технологий, оборудования и технологических решений в области *освоения разнотипных техногенных россыпей* Дальнего Востока.

Для реализации этих и многих других перспективных направлений долгосрочного развития минерального сектора Дальнего Востока необходимым условием является изменение существующей модели государственного стимулирования развития этого сектора экономики. На наш взгляд, акценты государственной поддержки должны быть перенесены на такие стадии воспроизводственного цикла, как «Воспроизводство минеральных ресурсов» и «Конечное потребление минеральных ресурсов»:

Воспроизводство минеральных ресурсов

Добыча минеральных ресурсов

Переработка минеральных ресурсов

Конечное потребление минеральных ресурсов

Н.А. Горячев¹, Н.В. Гальцева², О.А. Шарыпова², Ю.В. Прусс², И.С. Голубенко²
Перспективы социально-экономического развития севера Дальневосточного региона – роль академической науки в диверсификации минерально-ресурсной экономики

Академическая геологическая наука в силу своей фундаментальности нацелена, прежде всего, на решение генетических проблем формирования оруденения разных металлов. Она решает главные вопросы: почему и как возникли те или иные аномалии (месторождения) металлов и других элементов в земной коре? В данном контексте для академических геологов вопрос о промышленной значимости оруденения не является главным. Сегодня, когда прикладная наука переживает сложные времена (из почти шестидесяти прикладных геологических институтов в настоящее время осталось меньше десяти) очевидна необходимость участия академической науки в работах, направленных на поиски и оценку минеральных ресурсов.

В академических институтах накоплен и сохранен уникальный опыт изучения обширного круга месторождений различных твердых полезных ископаемых. Это касается и геолого-металлогенических особенностей того или иного типа оруденения, и минералого-геохимических, и технологических. В институтах сохранились опытные кадры, способные проводить как экспертные исследования для выделения интересных объектов, так и прямое их изучение. Академические институты пока еще обладают достаточно мощной (на фоне производственной геологии) и разнообразной аналитической базой.

Север Дальнего Востока представляет собой огромную территорию, вмещающую широкий спектр полезных ископаемых [12, 3]. Однако, отсутствие адекватно развитой инфраструктуры, зачастую сводит на нет возможности их использования, что приводит к определенной однобокости в развитии горнодобывающей промышленности.

Только благородные металлы, в силу их высокой ликвидности, оказались востребованными в современных условиях, и в значительной степени обусловили экономику северных регионов. Доля добывающих отраслей в основных показателях Магаданской области, Чукотского автономного округа и Республики Саха (Якутия) существенно превосходит аналогичные показатели как в среднем по России, так и по Дальневосточному федеральному округу (рис. 1): в объеме промышленного производства в 3 раза выше, чем в РФ и на 10%, чем в ДФО; в валовом региональном продукте – в 2,5-4,3 раза выше, чем в РФ, по сравнению с ДФО – в Якутии и на Чукотке выше в 1,7 раза, Магаданская область практически наравне с ДФО; в численности занятых – выше в 3-6 раз (по РФ и ДФО доля занятых на добыче примерно одинакова – около 3%); свыше 40% (до 76%) объема инвестиций в северо-восточных регионах в последние годы направлено в добывающую отрасль.

В динамике за 2005-2015 гг. очевидно, что прямая зависимость вклада добывающих отраслей от объема добычи особенно характерна для моноспециализированных регионов, таких как Чукотский АО, добывающий в больших объемах золото, чуть меньше в Магаданской области, где наряду с золотом добывается серебро. Так, снижение объема добычи золота в Чукотском АО к 2005 г. до 4,7 тонн привело к уменьшению доли добывающей отрасли в объеме

¹ Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, член-корреспондент РАН

² Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН

промышленного производства и ВРП ниже уровня в целом по ДФО, а рост добычи золота в 2010 г. до 25 т, а в 2015 г. до 30,5 т кардинально изменил ситуацию – доля в объеме промышленного производства выросла в 2 раза, доля в ВРП – в 5-6 раз [1].

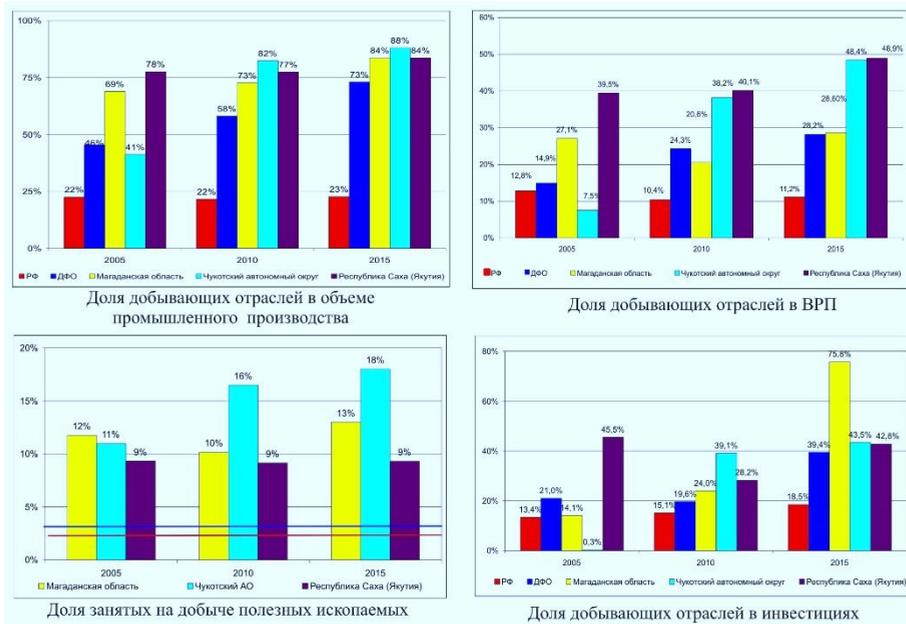


Рис. 1. Доля добывающих отраслей в различных показателях в сравнении с ДФО и РФ

Но в памяти старшего поколения сохранились воспоминания о гораздо более широком плановом развитии горнодобывающей промышленности, не только в южных районах (олово Комсомольского района, вольфрам и полиметаллы Приморья и проч.), но и в районах арктического Севера (олово и вольфрам Чукотки, олово в Якутии) и прилегающих территорий (олово в Магаданской области). А в настоящее время, дело дошло до того, что в планах Министерства природных ресурсов Российской Федерации, для Магаданской области, например, средства на развитие горно-геологической отрасли региона на трехлетний цикл заложены только на благородные металлы, т.е., на золото и серебро. Более того, в силу монополизации геологической отрасли АО Росгеология, все эти ресурсы, сейчас тратятся не только на указанный регион, но и на весь север Дальнего Востока, ибо базирующееся в Магадане Северо-Восточное производственное геологическое объединение «Росгеология» территориально занимается Чукотским округом, Камчатским краем и Магаданской областью, присматриваясь к востоку Якутии.

Со стороны частного бизнеса, крупные компании – ПАО «Полюс», АО «Полиметалл УК», «Кинросс Голд», ОАО «Сусуманзолото», и компании помельче, сосредоточены тоже только на добыче золота и серебра. Разве что в Якутии разрабатывается один золото-сурьмяный объект. Единственное исключение возникло в этом году, когда по итогам Дальневосточного экономического форума было принято решение о вовлечении в эксплуатацию в Чукотском автономном округе крупного медно-порфинового месторождения Песчанка. Но и это в значительной степени стало

потому, что руды этого месторождения содержат повышенные концентрации благородных металлов.

В то же время реальная ситуация в федеральном округе достаточно печальная. Так, например, несмотря на высокий рейтинг Магаданской области среди регионов РФ, добывающих благородные металлы (1-е место по объему добычи серебра и 2-е место по добыче золота в 2017 г.) не способствует закреплению населения и бездотационному бюджету. При увеличении добычи золота с 2000 по 2017 гг. на 10%, а серебра в 12,6 раза (рис. 2а) численность населения за 17 лет сократилась на 25 % (рис. 2б), а доля дотаций в доходах консолидированного бюджета области колеблется за рассматриваемый период с 32 до 56% (рис. 2в), всего за 2000–2017 гг. перечислено 123,22 млрд руб. федеральных дотаций в бюджет Магаданской области.

Напрашивается вопрос о необходимости смены парадигмы: от моноспециализации на добыче благородных металлов к диверсификации, который, в частности ставит и региональная власть, в том числе и перед академическими институтами в регионах.

В этой связи необходимо определить, какие переделы работ в данном направлении должны и могут сопровождаться сотрудниками академических институтов? И прежде всего, в чьих интересах?

Здесь, как показывает многолетний опыт, конкурируют две линии – интересы регионов и интересы горнодобывающего бизнеса. И они, к сожалению, не всегда совпадают, особенно в случае работ крупных компаний, имеющих объекты в разных регионах и странах (ПАО «Полус», АО «Полиметалл УК», «Кинросс Голд»). Можно обозначить и третью линию – интересы самой фундаментальной науки – поскольку в результате таких работ, также приобретаются новые фундаментальные знания.

Взаимодействие академической науки с региональными властями и горнорудными компаниями можно определить, как минимум, по пяти основным направлениям деятельности академической науки.

Прежде всего, это **(1) экспертиза современного состояния минерально-сырьевой базы регионов**, для выявления, среди недоизученных (по современным условиям) месторождений нераспределенного фонда, перспективных объектов для дальнейшего вовлечения в поисково-оценочные и разведочные работы. Такой экспертный анализ должен проводиться экспертами РАН в данной сфере (экономическая геология, геофизика, геохимия, металлогения, минералогия и пр.) обязательно с проработкой экономической составляющей значимости тех или иных рудных объектов, т.е. с привлечением исследователей экономической науки.

Примером такого подхода служит целый ряд аналитических записок для региональных властей и представителей российского и иностранного капитала, подготовленных сотрудниками СВКНИИ ДВО РАН в период 2010–2014 гг. («Маркетинговые исследования рентабельности освоения месторождений цветных металлов различного типа на территории Магаданской области», 2006 г.; «Оценка влияния освоения ресурсов углеводородов при магаданского шельфа Охотского моря на социально-экономическое развитие Магаданской области», 2007 г.; «Освоение месторождений железорудного сырья в Южно-Омолонском железорудном районе Магаданской области», 2013 г.; «Освоение буроугольных Ланковского, Мелководнинского и Чайбухинского месторождений в Магаданской области», 2013 г.; «Освоение объектов цветных металлов в Магаданской области», 2013 г.), которые, к сожалению, оказались востребованными властными структурами только сейчас. Это, конечно, потребовало внесения определенных корректив, обусловленных современными реалиями, которые, тем не менее, незначительно изменили ситуацию. Выполненными работами создана основа для оперативной переоценки освоения объектов в различных экономических и институциональных условиях, их влияния на региональную

экономику. Геолого-экономическая проработка состояния ресурсов и оценка динамики мировых цен на минеральное сырье (рис. 3) показали, что в современный период, наряду с добычей высоколиквидных благородных металлов, в Магаданской области и в Чукотском автономном округе большую роль могут играть руды цветных металлов и, даже, черных металлов. Их стоимостная оценка оказывается сопоставимой с благородными металлами. Так, по результатам выполненной стоимостной оценки минерально-сырьевого потенциала недр Магаданской области (сумма балансовых и забалансовых запасов, прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 , по данным ФБУ «ТФГИ по ДВФО»), доля благородных металлов составляет 9%, доля цветных металлов – 8% [2].

Изменение конъюнктуры рынков сырья и политических условий, таких как санкции к России, делают перспективными и другие направления диверсификации минерально-сырьевой базы региона.

Например, в свете политики импортозамещения, Правительством поставлена задача снижения доли импорта в потреблении по оловянным рудам и концентратам – с 80% в 2014 г. до 20% к 2020 г.; по олову – с 70 до 30% соответственно (приказ Минпромторга № 651 от 31.03.2015 г). В связи с этим СВКНИИ ДВО РАН выполняет работу по оценке перспектив освоения оловорудных месторождений Магаданской области. Российские медные компании проявили интерес к медным объектам в Магаданской области, а ученые СВКНИИ выступают экспертами по геологическим перспективам освоения медных месторождений.

Помимо таких примеров экономического подхода, важную роль играет и профессиональное мнение экспертов-геологов. Особенно это существенно для руд цветных и редких металлов, балансовых запасов которых практически нет для северных территорий (может быть, исключая олово в Якутии – Депутатское и на Чукотке – Пыркакайские штокверки). Это произошло в силу отсутствия внимания к ним, как отмечено выше, на фоне благородных металлов. Вот, например, уже упомянутая Песчанка на Чукотке. В своей обобщающей монографии и докторской диссертации В.И. Шпикерман в 1998 г. [13] указывал на перспективность данного объекта и не только его. Это нашло отражение и в известном двухтомнике, изданном в ДВО РАН в 2006 г. [3] под руководством тогда еще член-корреспондента РАН А.И. Ханчука. Сейчас, после многих лет и дополнительного вклада ученых МГУ, Песчанка, наконец, вышла на финишную прямую. В указанных монографиях, также говорится и о другом перспективном медном объекте – Ороекском месторождении на севере Магаданской области.

В настоящее время, по инициативе губернатора Магаданской области С.К. Носова в регионе создан экспертный совет, объединяющий ученых СВКНИИ, ЦНИГРИ, УрГУ, призванный определить первостепенные задачи по запуску медного проекта в Магаданской области на территории Среднеканского городского округа. Первоочередная задача – подготовить обоснование для выхода в Правительство РФ на выделение целевых средств МПР на поисково-оценочные и разведочные работы не только на этом объекте, но и в пределах крупного рудного ареала Приколымья. На очереди полиметаллические руды Омuleвского поднятия и Приколымья, оценка которых была сделана нами еще в 1990 г.

Надо отметить, что Президиум ДВО РАН не оказался в стороне от проблем диверсификации Севера, выделив в рамках Программы «Дальний Восток» проекты, направленные на оценку перспектив медно-порфирового оруденения в пределах всего округа. И такого рода проекты могут способствовать второму направлению деятельности академической науки, рассмотренному далее.

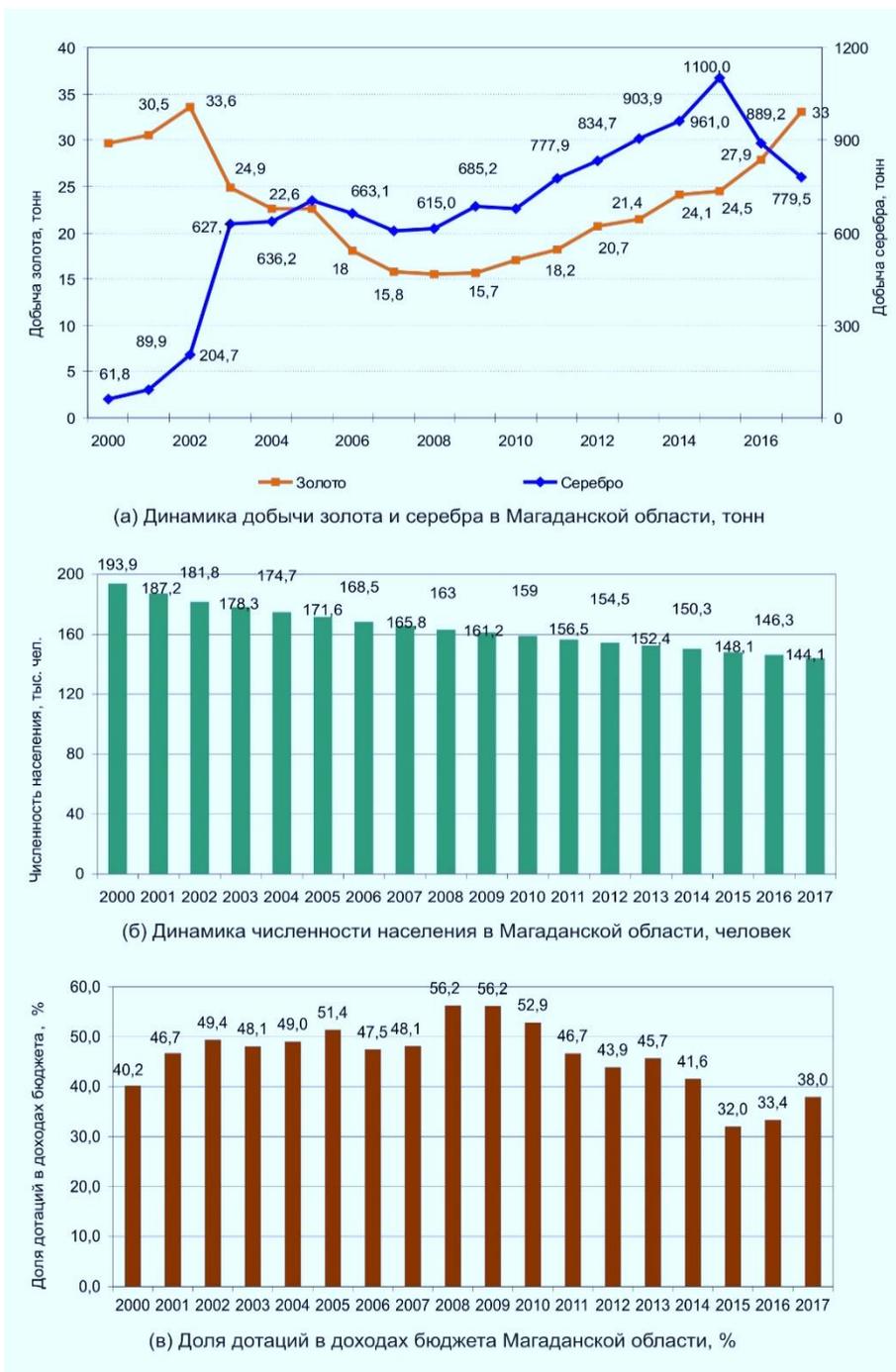


Рис. 2. Динамика развития Магаданской области: а) динамика добычи золота и серебра в Магаданской области, тонн; б) динамика численности населения в Магаданской области, человек; в) изменение доли дотаций в доходах бюджета Магаданской области, %

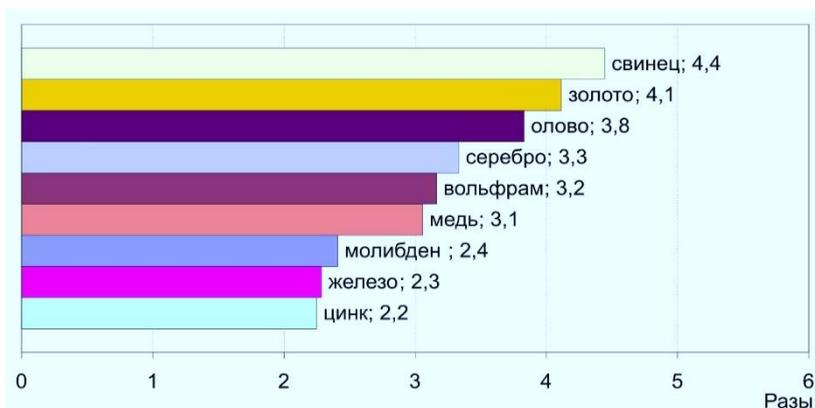


Рис. 3. Изменение цен мирового рынка сырья в период 2000–2017 гг., разы (по данным [14-16])

(2) Научное сопровождение действующих поисковых, оценочных и разведочных (вплоть до эксплуатационных) проектов. Это направление включает проведение специализированных геолого-структурных, геолого-геофизических и минералого-геохимических исследований, направленных на детализацию получаемых поисково-разведочных данных, как для получения дополнительной информации по зональности, возрасту, вещественному составу руд и пр., так и с целью выработки прогнозно-поисковых моделей оруденения разных типов разных территорий. Важным аспектом здесь является существующая приборная база институтов и центров коллективного пользования аналитического оборудования.

Примеры в нашем регионе, это работа (по заказам АО «Магадангеология» в прошлом и подразделений нынешнего СВПО Росгеологии), включающая научное обеспечение прогнозно-поисковых работ масштаба 1 : 200 000 и 1 : 50 000, научное редактирование листов геологических карт масштаба 1 : 200 000, участие в проведении полевых исследований, проведение работ по датированию и петрогеохимическому изучению объектов Магаданской области, Камчатского края и Чукотского автономного округа. Совместная работа с геологами ВСЕГЕИ (Министерство природных ресурсов и экологии РФ) по созданию нового поколения карт масштаба 1 : 1 000 000. А также выполнение работ по заказам горнодобывающих компаний: ОАО «Дукатгеология», ООО «Кинросс Дальний Восток», Магаданский филиал «Полиметалл УК».

Важным аспектом такой работы является публикация монографических обобщений по геологии и металлогении крупных рудоносных провинций или их частей, например, орогенных складчатых поясов, микроконтинентов [6, 7, 13, 10, 8 и многие другие].

Кроме того, в планах дальнейших работ значится издание сводной Геологической карты Магаданской области масштаба 1:1000000 путем интеграции из геоинформационной системы (ГИС) минерально-сырьевой базы Магаданской области. Данный проект является частью единой информационной системы о природных ресурсах, в тоже время эффективным инструментом в решении многоаспектных задач геологической и геолого-экономической направленности и позволяет компилировать карты различного тематического содержания: тектоника, магматизм, металлогения [4].

(3) Третье направление – это разработка новых методов поисков и оценки оруденения. Здесь можно выделить работы применения вариаций физических и химических свойств минералов руд, основанных на базе накопленного материала при изучении промышленно значимых (крупных, средних) рудных объектов. Примером может послужить выявление скрытой зональности руд и оценка их эрозионного среза по типоморфным свойствам минералов (кварц – естественная и искусственная термолюминесценция, степень совершенства кристаллического строения, изотопия кислорода, распределение примесей, флюидные включения и их особенности; пирит арсенопирит – изотопия серы, термоЭДС, вариации основного и примесного состава и др.) [5]. Данные результаты содержатся в многочисленных публикациях, диссертационных работах и позволяют проводить оценку параметров разнотипного оруденения. Их методология, основанная на фундаментальных закономерностях строения вещества, способна к применению на месторождениях разных металлов.

Следующая позиция – развитие инструментальных геофизических методов поисков с применением геоинформационных технологий. Как пример, использование квадрокоптеров для локальных геофизических исследований (магнитометрия, гравиметрия и электроразведка). Такая разработка внедрена сотрудниками Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН совместно с Иркутским национальным исследовательским техническим университетом (ИРНИТУ). Усовершенствованные методики электроразведочных работ широко применяются также в лабораториях: региональной геологии и геофизики СВКНИИ ДВО РАН и Института тектоники и геофизики ДВО РАН (г. Хабаровск). Отметим также, что СВКНИИ ДВО РАН имеет опыт реализации региональных ГИС для нужд недропользования (табл. 1), разработаны методические подходы применения ГИС-технологий для решения рудно-геологических задач, связанных с прогнозированием, геолого-экономической оценкой запасов и ресурсов полезных ископаемых.

Таблица 1

Характеристика реализованных геоинформационных систем
СВКНИИ ДВО РАН

Наименование ГИС	Масштаб исходной информации	Площадь, км ²	Количество объектов		
			Полигоны	Линии	Точки
ГИС Верхне-Колымского региона: геология и полезные ископаемые, 1998	1:200 000	96 493	9 381	15 010	2 471
ГИС Центрально-Колымского региона: россыпные месторождения золота, 2001	1:500 000 1:200 000	130 668	247	1 651	-
ГИС Колымо-Омолонского региона: геология, 2001	1:500 000	306 814	16 781	56 814	420
ГИС Охотско-Колымского региона: геология, 2002	1:500 000	265 554	14 995	55 528	1 319
ГИС Северо-Востока России: геология и минеральные ресурсы, 2004	1:1 500 000	3 774 000	27 000	11 000	700
ГИС по геологии и полезным ископаемым Дегдекан-Арга-Юряхского рудно-россыпного узла, 2004	1:50 000 1:100 000 1:200 000	2 424	5 595	12 429	1 439

(4) Четвертое направление – проведение тонких минералогических и геохимических исследований состава руд, что способствует выявлению минеральных форм для попутных примесей в рудах, представляющих промышленный интерес, и приводит к усилению привлекательности рудных объектов. Например, повышенный уровень серебра, висмута, германия и галлия в полиметаллических рудах, или рения в молибденовых рудах, или платиноидов в золотых рудах, или выявление примесей золота и платиноидов в медно-порфировых рудах. Эти вопросы, в разной степени детальности, рассмотрены в целом ряде публикаций СВКНИИ, ДВГИ, ИТиГ, ИГиП и других институтов нашего отделения. Особенно стоит отметить важность обобщающих монографических публикаций, которые содержат массу фактологических данных для реализации этого направления [11, 8].

(5) Пятое направление – технологическое. Оно включает проведение специализированных минералогических исследований, которые позволяют определить технологические свойства и качество руд, что создает предпосылки для разработки технологии максимально полного извлечения полезных компонентов из них. Сюда же относятся и разработки химиков-технологов, предназначенные не только для усовершенствования методов извлечения полезных компонентов из руд, но и создающие новые методы их извлечения. В этом направлении должны быть востребованы известные результаты работ Института химии и Института горного дела ДВО РАН, зафиксированные не только в научных публикациях, но и в целом ряде патентов и авторских свидетельств. Примером является исследование минералогии руд с помощью уникального для нашего региона оборудования – QEMSCAN, позволяющего не только определять минералы и их состав, но и такие специфические параметры как процент сростаний с разными минеральными фазами, давать прогноз их раскрытия при разном измельчении и прочее (рис. 4). Это было проделано сотрудниками СВКНИИ по заказу АО «Рудник им. Матросова» (Полус) для руд Наталкинского месторождения, в 2018 году, давшего первый серьезный металл.

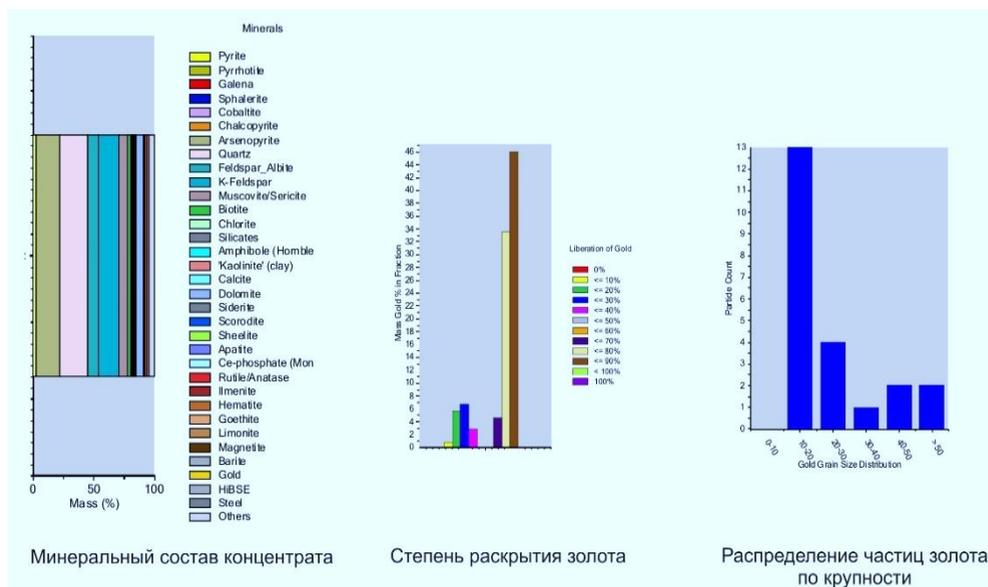


Рис. 4. Пример данных количественного минералогического анализа концентрата руды месторождения Наталки по QEMSCAN, масс. %

Что же может дать диверсификация для регионального развития? Прежде всего, это развитие транспортной и энергетической инфраструктуры, что приведет к более тесной региональной интеграции. Для Магаданской области, как показывают выполненные расчеты только по трем группам проектов (цветные металлы, черные металлы, уголь), это увеличение численности населения на 20%, увеличение ВРП на 30% (табл. 2) и увеличение доли налоговых поступлений более чем в 2 раза (рис. 5).

Таблица 2
Оценка влияния инвестиционных проектов на социально-экономические показатели Магаданской области

Показатель	2017 (факт)	Уголь	Цветные металлы	Железо	Итого с учетом суммы проектов	Рост, раз
Численность населения, тыс. чел.	144,8	5,3	10,9	7,8	168,8	1,2
ВРП среднегодовой, млрд руб.	162,5	0,9	36,2	4,6	204,2	1,3
Налоговые поступления в бюджет Магаданской области, млрд руб.	21,4	1,2	22,6	2,3	47,5	2,2

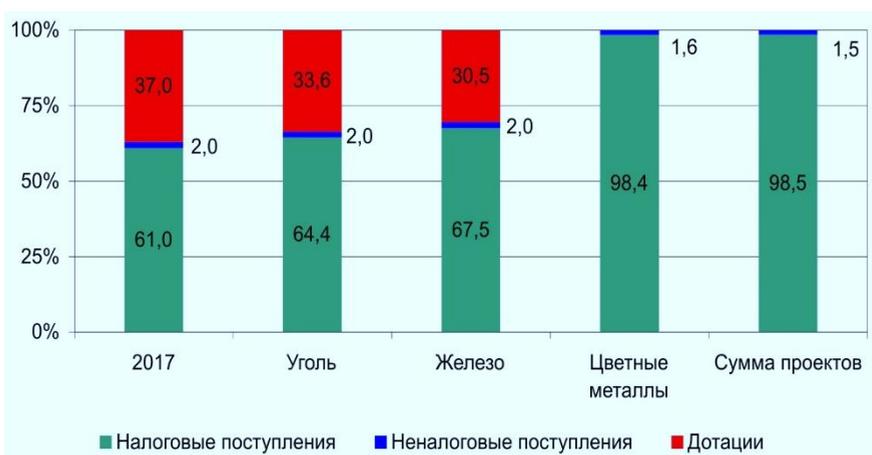


Рис. 5. Изменение структуры регионального бюджета Магаданской области с учетом реализации проектов

Реализация 3-х перечисленных выше групп проектов, для Магаданской области потребует порядка 130 млрд руб. инвестиций, поскольку многие предполагаемые к вовлечению объекты не обеспечены инфраструктурой, имеют слабую степень разведанности. Например, медный объект Орок даже не опробован бурением, а более высокая степень разведанности железорудных объектов нуждается в еще большем объеме бурения для полноты оценки запасов.

Для привлечения инвесторов, в рамках экспертного совета нами проводятся следующие работы:

1. Определение экономических и институциональных условий повышающих привлекательность проектов для инвесторов: освоение в условиях льгот Особой

экономической зоны (ОЭЗ), действующей в Магаданской области, государственно-частного партнерства (ГЧП), региональных инвестиционных проектов (РИП). Каждая из форм реализации инвестиционного проекта имеет свой набор и объем преференций для инвестора, поэтому необходимо выбрать формат, наиболее эффективный в каждом конкретном случае, как для инвестора, так и для региона. Например, получив статус РИП, инвестор пользуется в первые 10 лет льготами по налогу на добычу полезных ископаемых (НДПИ): применение коэффициентов от 0 до 0,8 в течение 10 первых лет добычи; и налогу на прибыль: 0-10% в течение 10 лет. В Магаданской области этого статуса добился Рудник им. Матросова для месторождения Наталка, но для регионального бюджета это большие потери, так как льготы по налогам предоставляются не по федеральной доле налогов, как в случае режима ОЭЗ, а по всем уровням бюджета, включая региональный.

2. Вариантное рассмотрение проектов с точки зрения логистики и степени переработки ресурса.

3. Выступления на различных научных конференциях и бизнес-форумах с информацией о проектах, для их продвижения.

Обобщая вышесказанное, по нашему мнению, основные функции науки в регионе по осуществлению диверсификации минерально-ресурсной базы, заключаются в следующем:

- ✓ обоснование перспективных направлений диверсификации минерально-сырьевого комплекса;

- ✓ экспертиза геолого-экономических оценок, экспертная геологическая оценка минеральных ресурсов для обоснования региональных заявок на дополнительное финансирование в Правительство РФ;

- ✓ научное сопровождение поисково-оценочных и разведочных работ на всех стадиях, а также технологические исследования по заказам компаний;

- ✓ предложение комплекса мер по формированию привлекательных условий для инвесторов.

Аналогичные перспективы для диверсификации использования минерально-сырьевого потенциала имеются и возможны в других регионах Северо-Востока РФ.

Регионы Северо-Востока России (Магаданская область, Чукотский автономный округ, восточная часть Республики Саха (Якутии) имеют схожие условия и проблемы. Они уже объединены, как Магаданская область и Якутия, или могут быть объединены общей транспортной и энергетической инфраструктурой. Так, например, обсуждаются и уже реализуются проекты объединения инфраструктуры Магаданской области и Чукотки: энергетической системы двух регионов, позволяющий использовать на Чукотке избыточную относительно дешевую электроэнергию 2-х гидроэлектростанций в Магаданской области и строительства автомобильной дороги из Магаданской области на Чукотку, в связи с тем, что в Магадане незамерзающий морской порт (рис. 6).

Поэтому предлагается разработать Программу развития минерально-сырьевой базы Северо-Восточных регионов России (а может и всех регионов ДФО).

Содержательная часть Программы должна включать следующие разделы:

- переоценка минерально-сырьевой базы регионов;
- территориальная структуризация объектов минеральных ресурсов (месторождений, рудопроявлений), с выделением первоочередных для освоения горнопромышленных кластеров;

- определение перечня необходимых объектов транспортной и энергетической инфраструктуры для развития кластеров;

- разработка комплекса мер и механизмов государственной поддержки с целью максимально полной реализации минерально-сырьевого потенциала регионов Северо-Востока России и создания (а где и возрождения) серьезной горно-металлургической промышленности.

Таким образом, существующий потенциал академических институтов Дальнего Востока вполне может обеспечить мощный импульс для развития регионов не только Севера Дальнего Востока, но и всего Дальневосточного федерального округа.

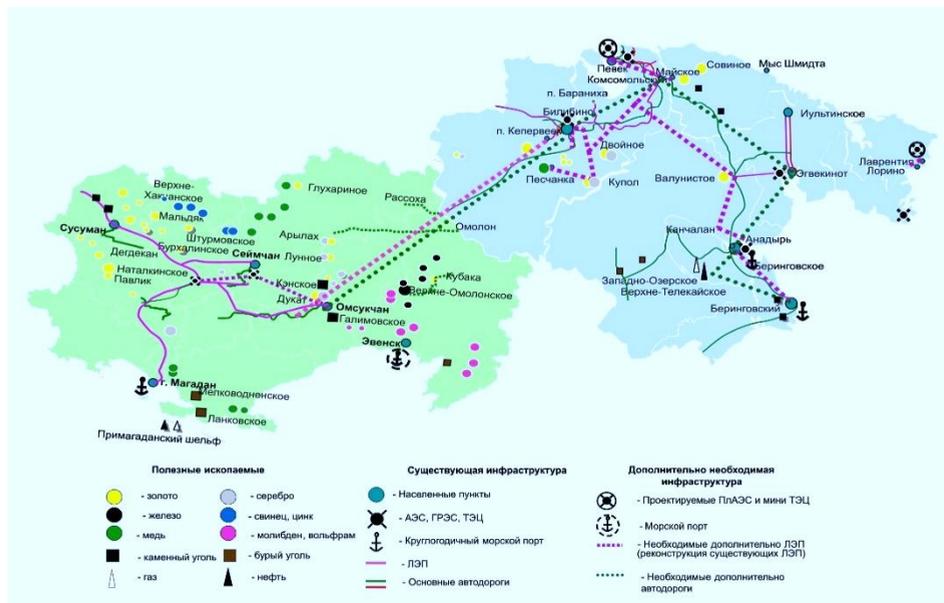


Рис. 6. Имеющаяся и необходимая инфраструктура Магаданской области и Чукотского автономного округа для освоения минерально-сырьевого потенциала

Литература

1. Гальцева Н.В. Проблемы и условия повышения привлекательности инвестиционных проектов в горных отраслях Северо-Востока России // Рациональное освоение недр. 2018. № 4. с. 34-40.
2. Гальцева Н.В., Прусс Ю.В., Шарытова О.А. Перспективы использования ресурсного потенциала отходов горных производств Магаданской области // Горный журнал. 2018. №4. с.45-50.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2-х кн. (под ред. А.И. Ханчука). - Владивосток: Дальнаука. 2006. кн. 1. 572 с.; кн. 2. с. 573-981.
4. Голубенко И.С. Создание ГИС минерально-сырьевой базы Магаданской области // Исследование проблем и перспектив развития инвестиционного климата Магаданской области. Р. I, Гл. 9, с. 195-213); – СПб.: Санкт-Петербургский академический университет. 2016. 464 с.
5. Горячев Н.А. Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. – Магадан: СВККНИИ ДВО РАН. 1992. 136 с.
6. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 1998. 210 с.
7. Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2003. 143 с.

8. Горячев Н.А., Егоров В.Н., Савва Н.Е., Кузнецов В.М., Фомина М.И., Рожков П.Ю. Геология и металлогения фанерозойских комплексов юга Омолонского массива. Владивосток: Дальнаука. 2017. 312 с.
9. Приказ министерства промышленности и торговли от 31.03.2015 № 651.
10. Родионов С.М. Металлогения олова Востока России. М.: Наука. 2006.
11. Савва Н.Е., Шиляева Н.А., Алевская Н.Л. Топоминералогия конституционных особенностей самородного золота Нижне-Амурского россыпного района. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2004. 172 с.
12. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). (Ред.: Л.М. Парфенов и М.И. Кузьмин). М.: МАИК «Наука-Интерпериодика». 2001. 571 с.
13. Штикерман В.И. Домеловая минерация Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 1998. 333 с.
14. Information-analytical portal in the field of precious metals and stones. URL: <http://www.bullion.ru>
15. Jewell S., Kimball Suzette M. MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2017. – U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2017, 202 p. URL: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>
16. The London Metal Exchange. Official Prices. URL: <http://www.lme.com>

Ю.Н. Кульчин¹, Е.П. Субботин², А.И. Никитин²

Использование лазерных технологий в интересах судостроения и судоремонта, авиастроения и авиаремонта

Использование лазерных технологий в машиностроении является одним из наиболее производительных и перспективных технологических процессов, который находит все более широкое применение в промышленности, фактически становится базовым процессом не только в машиностроении, но и в автомобилестроении, авиации, мосто- и судостроении, в строительстве и нефтегазовой промышленности ведущих стран мира. Эти технологии стали, по существу, локомотивом и предвестником новой промышленной революции, причем число применений лазеров в промышленности неуклонно растет [1].

Настоящие исследования по применению лазерных технологий в судостроительной, судоремонтной, авиастроительной и авиаремонтной отраслях промышленности, проводимые в ФГБУН Институт автоматки и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН, соответствуют Приоритетному направлению научно-технологического развития РФ «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта». Работы по лазерным технологиям были инициированы в Дальневосточном инжиниринговом центре лазерных технологий (ДВИЦЛТ) ИАПУ ДВО РАН (рис. 1) в связи с наличием на Дальнем Востоке России целого ряда крупных и средних промышленных предприятий в области судостроения и судоремонта, а также авиастроения и авиа-ремонта, нуждающихся в этих технологиях.

¹ Научный руководитель Института автоматки и процессов управления ДВО РАН, академик РАН

² Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН



Рис. 1. Дальневосточный инженеринговый центр лазерных технологий ИАПУ ДВО РАН

Востребованность и перспективы промышленных лазеров в обозначенных выше областях промышленности связаны с их преимуществами: высокой производительностью, экологической чистотой, возможностью обработки различных материалов, включая особо твердые, композитные и др. [2]. По сравнению с традиционными способами механической обработки деталей, лазерные технологии экономически эффективнее, позволяют сберечь энергию и минимизировать расходы.

Созданные в ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН роботизированные лазерные системы на основе волоконных лазеров обеспечивают гибкость производства за счет высокой автоматизации и скорости перенастройки оборудования (рис. 2).



Рис. 2. Роботизированные лазерные системы ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН для выполнения разнообразных технологических операций

Миссия ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН:

- *повысить конкурентоспособность* производственного сектора экономики (в т.ч. в области судостроения и судоремонта и авиастроения и авиаремонта) в ДВФО.
- *обеспечить* внедрение современных высокоэффективных волоконных лазеров на судостроительных и судоремонтных предприятиях, а также на предприятиях авиастроения и авиаремонта, аэрокосмической и автомобильной промышленности, в строительстве современных высоковольтных линий электропередач, ремонте железнодорожного подвижного состава, других видах экономической деятельности.

Сотрудничество с судоремонтной отраслью

Как известно, около 50 % расходов при ремонте составляют расходы на приобретение запасных частей, основная часть которых поступает на замену

отработавшим ресурсе узлам и деталям. В настоящее время изношенность судового оборудования морских судов, особенно кораблей ВМФ, достигает 80 %. Замена дорогостоящих деталей на новые сталкивается с проблемами отсутствия таковых на рынке, вследствие снятия их с производства, разрушением сложившейся кооперации, в связи с образованием СНГ и введения экономических санкций по отношению к России.

Существенно уменьшить объем расходов представляется путем восстановления ранее находившихся в эксплуатации деталей. Это позволит снизить расходы на запасные части более чем в 1,5 раза, благодаря использованию прогрессивных методов восстановления. Кроме этого, можно сэкономить сотни тонн высококачественного металла и значительно сократить трудозатраты на производство запасных частей. В масштабах отечественной судоремонтной отрасли экономическая эффективность в результате восстановления деталей может превышать сотни миллиардов рублей в год.

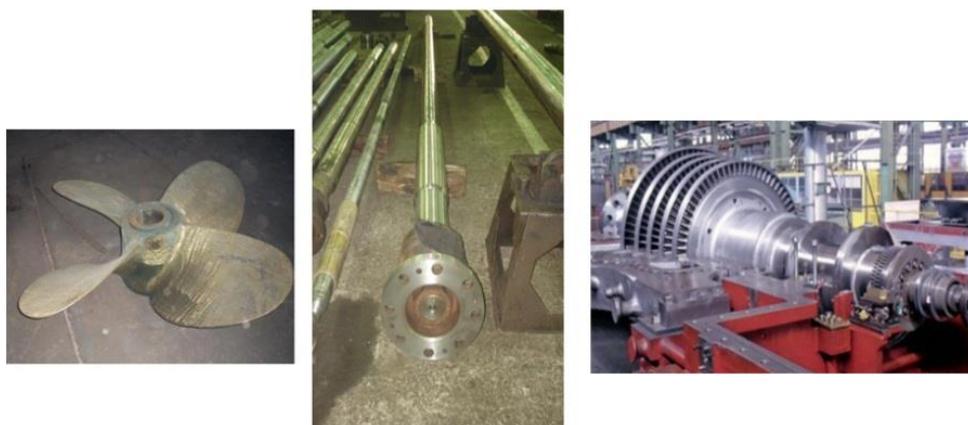


Рис. 3. Примеры подлежащих восстановлению деталей морских судов

В результате проделанной работы в ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН были разработаны технологии восстановления наиболее повреждаемых групп деталей морской техники: гребные винты, гребные валы (в том числе - облицовки гребных валов), полумуфты гребных валов, промежуточные валы, лопадки турбин (см., например, рис. 3), посадочные места подшипников редукторов, крышки герметичных люков, дейдвудные устройства, элементы трубопроводной арматуры, изготавливаемые их разнообразных материалов: сталь, нержавеющая сталь, медь, бронза и баббит [3, 4, 5]. Для этой цели были использованы и адаптированы к судоремонтному процессу следующие технологии:

- лазерная сварка;
- лазерная порошковая наплавка;
- лазерная проволоочная наплавка;
- лазерная резка;
- лазерное термоупрочнение поверхности стальных изделий;
- лазерная гравировка и маркировка изделий промышленного производства;
- лазерная селективная очистка поверхности объектов.

В ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН разработана уникальная, не имеющая аналогов в мировой практике, технология подводной очистки корпусов судов и гидротехнических сооружений [6-9]. Биологическое обрастание – нарост, образуемый на погруженных в воду искусственных предметах разнообразными поселениями

морских или пресноводных организмов (бактерий, водорослей, беспозвоночных животных) и продуктов их жизнедеятельности в виде минеральных частиц и отложений. Различают свыше 4000 видов морских организмов, которые могут участвовать в процессе биообрастания, создавая сложные локальные экосистемы. Заселение и развитие биофактора на поверхности корпуса в водной среде негативно влияет на гидродинамические параметры судов. В частности, потери скорости из-за увеличения шероховатости подводной части корпуса судна вследствие обрастания могут достигать 50% от номинальной.

На основании результатов проведенных исследований в ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН определены различные варианты использования лазерного излучения таким образом, чтобы не допустить повреждения защитного лакокрасочного покрытия подводной части корпуса судна, однако, при необходимости, можно удалить биообрастание вместе с краской - до поверхности металла (рис. 4).



Рис. 4. Пример лазерной подводной очистки металлической поверхности от биологического обрастания

Разработанная лазерная технология подводной очистки ориентирована на использование роботизированных комплексов, позволяющих осуществлять дистанционный контроль технологического процесса очистки и оперативно оценивать состояние подводной части корпуса судна.

Практические результаты исследований по инициативе ИАПУ ДВО РАН и МГУ им. Г.И. Невельского используются предприятием морской отрасли ООО «ГАЛФ» в ходе выполнения НИОКР по теме: «Разработка аппарата лазерной подводной очистки поверхности объектов от биообрастателей». Работы ведутся при поддержке Фонда содействия инновациям.

Базовая составляющая технического решения продукта – робот-носитель с установленной на нем лазерной головкой [10], обеспечивающей сканирование излучения с заданными параметрами по поверхности корпуса судна.

Основные технические характеристики роботизированного комплекса очистки:

вес на воздухе – не более 100 кг;

максимальная рабочая глубина, не менее – 50 м;

допустимая скорость течения в районе работ, не менее – 0,5 м/с;

двигательно-рулевой комплекс:

- обеспечивает движение вперед-назад, вверх-вниз, развороты по курсу, крену и дифференту ($\pm 180^\circ$) в толще воды;

- обеспечивает угловую стабилизацию по крену, курсу и дифференту в толще воды;

- обеспечивает движение и повороты на месте на поверхности борта с прижатием тягой вертикальных движителей;

- суммарная тяга вертикальных движителей, не менее – 50 кг;
- суммарная швартовая тяга горизонтальных движителей, не менее – 25 кг;
- тип движителей в режиме перемещения по поверхности – гусеницы/колеса;
- максимальная скорость перемещения в толще воды – до 1 м/с;
- максимальная скорость перемещения по поверхности – до 20 м/мин;

Себестоимость лазерной подводной очистки корпуса судна с использованием разработанного роботизированного комплекса при скорости обработки 15 м²/час составляет 0,25 \$/м² и она падает с ростом производительности оборудования.

Сотрудничество ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН с авиаремонтной отраслью

Использование лазеров в составе промышленных роботизированных комплексов в авиастроении и авиаремонте – одно из наиболее производительных и перспективных направлений обработки материалов. В ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН были выполнены работы по исследованию, освоению и внедрению в производство технологических процессов лазерной обработки материалов, в т.ч., из сплавов на основе титана, магния, алюминия, меди, свинца, а также коррозионностойкой высокопрочной стали [11].

В результате сотрудничества ИАПУ ДВО РАН с ПАО «Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина» холдинга АО «Вертолеты России» разработаны технологические решения лазерной резки элементов литниково-питающей системы из магниевых сплавов, которые могут стать одним из возможных решений модернизации процесса обработки заготовок в литейном производстве, а также задач адаптивного управления процессом лазерного резания в технологических системах металлообработки. Рассчитаны условия и параметры резки детали цилиндрической формы из магниевого сплава, в том числе мощность лазерного излучения, скорость движения сфокусированного лазерного пучка по обрабатываемой поверхности детали, параметры и состав режущего газа, исключающие возгорание пожароопасного материала в процессе лазерной обработки [12].

По результатам расчета параметров канала реза создано специальное устройство подачи технологических газов в зону резки для его установки на серийно выпускаемую оптическую головку [13].

В целях повышения конкурентоспособности авиационных сервисных центров за счет повышения качества ремонта и сокращения стоимости и сроков технического обслуживания воздушных судов ДВИЦЛТ ИАПУ ДВО РАН совместно с ОАО «322 Авиаремонтный завод» провели серию опытно-конструкторских работ по созданию и внедрению современных технологий металлообработки с использованием лазерного и робототехнического оборудования.

ОАО «322 АРЗ» является ведущим авиаремонтным предприятием в Дальневосточном регионе, специализируется на сервисном обслуживании, ремонте и утилизации авиационной техники типа: Су-24, Су-25, Су-27, МиГ-31, Ан-2, Як-52 и Ка-27, Ка-29, Ка-32, Ми-8 и их комплектующих.

В результате проведенных исследований процессов ремонтного восстановления деталей авиационной техники из материалов МЛ-5, АК4-1Ч, ВНЛ-3 методом лазерной сварки и лазерной порошковой наплавки предложены новые технические решения по устранению трещин и коррозионных повреждений в корпусах деталей, ранее не подлежащих ремонту (рис. 5).

Лазерные технологии восстановительного ремонта деталей авиационной техники, разработанные в ходе реализации опытно-конструкторских работ поддержаны ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» и ООО «Научно-производственный концерн «ШТУРМОВИКИ СУХОГО». Отремонтированные узлы самолетов успешно эксплуатируются в войсковых частях.

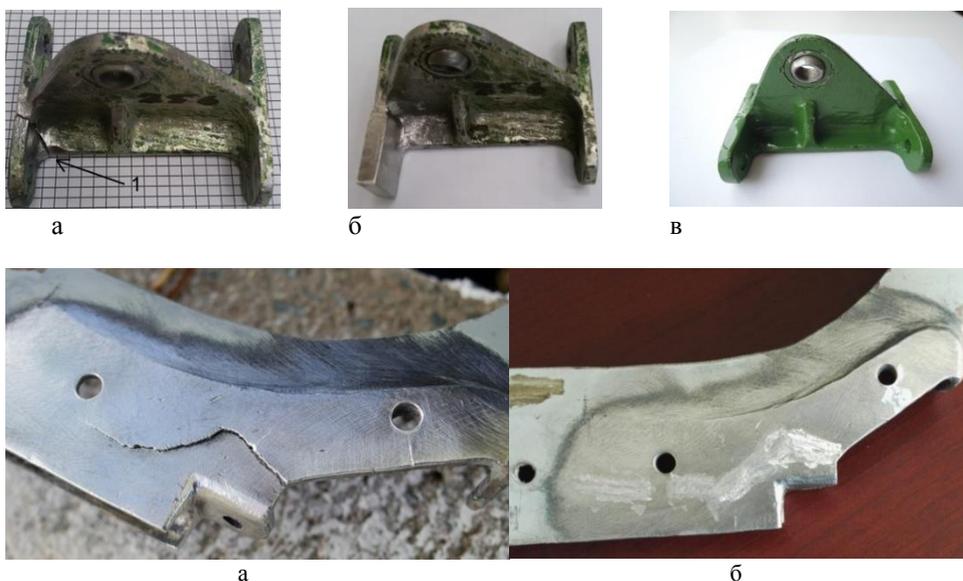


Рис. 5. Примеры лазерного восстановления деталей:

Вверху: внешний вид кронштейна самолета СУ-25 до и после ремонтного восстановления методом лазерной сварки: а – при поступлении в ремонт (1 - место излома проушины), б – после лазерной сварки, в – после механической обработки и последующей покраски;

Внизу: внешний вид детали «прижим стекла»: а – дефектная деталь, б – деталь, восстановленная методом лазерной сварки

Таблица 1

Перечень деталей, восстановленных с применением разработанных лазерных технологических процессов и полученный экономический эффект

№ пп	Наименование детали	Номенклатурный номер	Количество	Затраты, руб. с НДС	Сроки ремонта 1 изделия	Стоимость, руб. с НДС	Сроки поставок, мес.	Экономический эффект, %
1	Кронштейн основной опоры шасси	81.0318.1001.900	2	118 944,00	3 дня	750830,08	12-18	1262
2	Кронштейн основной опоры шасси	81.0318.1001.900	1	63 436,80	3 дня	750830,08	12-18	1183
3	Прижим стекла	81.0720.1007.900	2	5 286,40	2 дня	325638,17	12-15	616
4	Кронштейн управления элеронами на 15 шп.	81.5201.0385.001	8	8 854,72	2 дня	53 393,97	12-18	603
5	Гермовыводы	83.5103.0190.000	2	3 964,80	2 дня	27 039,94	12-15	682
6	Кронштейн управления 4 секции предкрылков	81.5006.3410.902	1	6 826,70	4 дня	38 843,93	12-18	569
7	Кронштейн крепления рулевой машины РМ-130	81.5201.3430.000	1	3 652,12	1 день	19 794,49	12-18	542
8	Рама для размещения блоков ИКВ-1 в кабинамном отсеке	81.7731.1771.900	1	2 896,35	1 день	16 827,80	12-15	581

Разработанные в ИАПУ ДВО РАН технологические процессы восстановления деталей позволяют в 4-10 раз уменьшить себестоимость ремонта авиационной техники и обеспечить своевременное выполнение государственного оборонного заказа (табл. 1).

В настоящее время в ИАПУ ДВО РАН в интересах авиаремонтной отрасли выполнены исследования процессов лазерной селективной очистки от краски материала поверхности обшивки планера воздушных судов (рис. 6).

В результате работы заложены основы для создания технологии роботизированной очистки поверхности обшивки планера самолета от краски, позволяющей заменить существующий опасный для здоровья ручной химического процесс очистки окрашенных поверхностей.

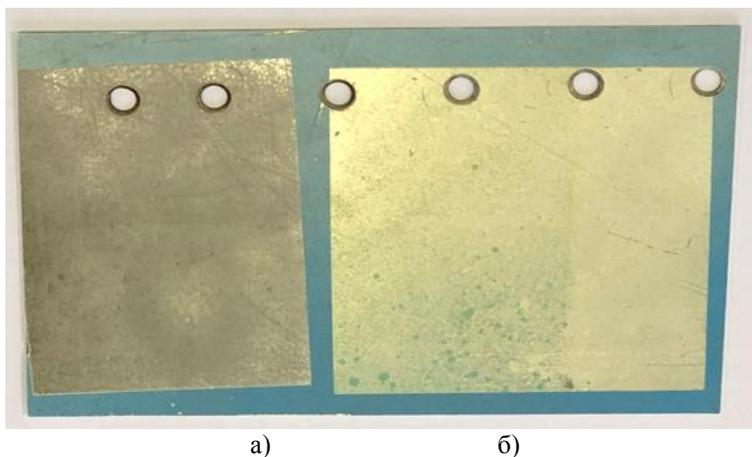


Рис.6. Фотографии результата лазерной очистки фрагмента планера самолета от краски; до металла (а) и до грунта (б)

На основании вышеизложенного следует отметить, что созданный в ИАПУ ДВО РАН Дальневосточный инженеринговый центр лазерных технологий позволил в достаточно короткий срок сформировать компетенции в области применения лазерных технологий в машиностроительном комплексе, что, при условии дооснащения его технологической базы, открывает перспективы для создания единственного в ДВФО инженерингового инновационного предприятия для внедрения прорывных технологий в машиностроение и оказания им комплексных инженеринговых услуг.

Литература

1. Богданов А.В., Голубенко Ю.Н. Волоконные технологические лазеры и их применение. – СПб.: Издательство Лань. 2016. 208 с.
2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. 664 с.
3. Kulchin Yu., Galkin N., Subbotin E., Dolgorook V., Yatsko D. On the principles of the additive technology implementation of composite magnetic coating's formation on non-magnetic substrates by laser welding of micro powders// Solid State Phenomena. 2016, p. 230-237.
4. Пивоваров Д.С., Кондрашина А.С., Никитин А.И., Субботин Е.П., Яцко Д.С. Определяющие параметры поверхностной обработки металлов методом лазерной порошковой наплавки // Сб. статей XX Межд. науч.-практич. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». Санкт-Петербург. 2015. С. 38-44.

5. Пивоваров Д.С., Субботин Е.П., Никитин А.И., Яцко Д.С., Кульчин Ю.Н., Галкин Н.Г. Универсальный роботизированный лазерный комплекс для научных исследований // Сб. статей XX Межд. науч.-практич. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». Санкт-Петербург. 2015. С. 44-48.
6. Kulchin Yu., Nikitin A., Subbotin E. Robotic laser ablation cleaning of underwater part of sea vessels from biofouling without docking. The 32nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structure. TEAM 2018, Oct. 15-18, 2018, Wuhan, China.
7. Бегун А.А., Звягинцев А.Ю., Масленников С.И., Кульчин Ю.Н., Субботин Е.П. Оценка воздействия лазерного излучения на видовой состав сообщества морского биообрастания на экспериментальных стальных пластинах // Вода: химия и экология. 2016. № 10. С. 33-46.
8. Кульчин Ю.Н., Звягинцев А.Ю., Субботин Е.П., Масленников С.И., Бегун А.А. Перспективы и технико-экономические аспекты разработки новых методов контроля биообрастания на морском транспорте // Вестник ДВО РАН. 2015. №6. С. 96-103.
9. Жевтун И.Г., Субботин Е.П., Бегун А.А., Масленников С.И., Звягинцев А.Ю., Кульчин Ю.Н. Влияние лазерной очистки на структурные изменения в поверхностном слое стальных пластин, подвергшихся биообрастанию в морской среде // Коррозия: материалы, защита. 2018. С. 34-40.
10. Быканова А.Ю., Костенко В.В., Львов О.Ю., Никитин А.И., Субботин Е.П., Костянюк А.А. Роботизированный комплекс подводного инспектирования и лазерной очистки судов на плаву. // Мат. 7 Всерос. науч.-техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана». Владивосток. 2017. С. 122-128.
11. Никитин А.И., Кульчин Ю.Н., Гнеденков С.В., Иванов М.Н., Ионов А.А. Машталяр Д.В., Пивоваров Д.С., Синявских С.Л., Субботин Е.П., Шпаков А.В., Яцко Д.С. Исследование возможности практического применения волоконных технологических лазеров в задачах ремонтного восстановления деталей авиационной техники // Роль фундаментальных исследований при реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»: мат. IV Всерос. конф. 2018. С. 247-267.
12. Кульчин Ю.Н., С.Л., Субботин Е.П., Никитин А.И., Пивоваров Д.С., Яцко Д.С. Применение лазеров высокой мощности для резки элементов литниково-питающей системы магниевых отливок. Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 25-29.
13. Патент РФ № 2641443, МПК В23К 26/38, МПК В23К 26/14, МПК В23К 26/16. Способ резки заготовки, выполненной из магния или магниевый сплав / Саланин Д.А., Кондрашина А.С., Пивоваров Д.С., Яцко Д.С., Костянюк А.А.; опубл. 17.01.2018. Бюл. № 2-2018.

А.И. Алексанин¹, М.Г. Алексанина², В.А. Левин³
Технологии спутникового информационного обеспечения хозяйственной деятельности в Арктической зоне РФ

Введение

Спутниковое информационное обеспечение хозяйственной деятельности зависит от задач, которые необходимо решать. К актуальным задачам следует отнести расчет ледовых нагрузок на добывающие платформы. Задачи разбиваются на отдельные подзадачи, технологии решения которых находятся на разных уровнях готовности и

¹ Заведующий лабораторией Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, доктор технических наук

² Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, кандидат технических наук

³ Главный научный сотрудник Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, академик РАН

качества при применении их на практике. Подбор и адаптация соответствующих технологий друг к другу является необходимым условием успешного решения задач. Из всего разнообразия задач следует выделить, как наиболее востребованные, задачи создания технологий расчета и мониторинга параметров ледового покрытия моря.

Для расчета необходимой прочности инженерных сооружений на шельфе замерзающих морей часто требуется заранее рассчитывать характеристики истирающих ледовых нагрузок для конкретного места добычи углеводородов при проектировании платформ. От закладываемых прочностных характеристик значительно зависит себестоимость углеводородов. Для расчета прочности опор платформы необходимо знание ледовой обстановки в месте добычи за несколько предшествующих лет. Достаточно знать следующие параметры льда: его дрейф; толщину; сплоченность; характерный размер льдин; прочность льда и его внутреннюю структуру; температуру поверхности льда; уровень моря и его изменчивость; наличие торосов [10, 19]. Все эти параметры и их межгодовую изменчивость можно оценивать по архивной спутниковой информации. Проблема сводится к оценке необходимой точности расчета упомянутых параметров по спутниковой информации.

Для безопасной и оптимальной проводки судов во льдах также требуется знать положение кромки льда, трещины во льду; дрейф льда; толщину льда, сжатие льда, положение «ледовых рек». Последние представляют собой узкие (первые сотни метров) потоки битого льда, попав в которые суда теряют управление. У Центра коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН с 2010 года есть опыт обеспечения информационной поддержки проводки судов дальневосточного морского пароходства (ДВМП) к порту Магадан. В первую очередь решаются три основные задачи: получение и мониторинг кромки льда, получение изображений структуры льда (трещины, разводья) и расчет дрейфа льда. На трассе к порту Магадан особо навигационно значимыми явлениями являются интенсивный дрейф и сжатие льда. Гидрологами ледоколов ДВМП было высказано пожелание, что было бы полезно указывать зоны сжатия льда и величину этого сжатия. Конкретные методики сравнительно простых (визуальных) определений сжатия ледяного покрытия моря по спутниковым изображениям отсутствуют [8, 9]. Методическая проработанность подхода к определению параметров зон сжатия, представленная в литературе, остается недостаточной.

Подбор средств и технологий для расчета параметров ледового покрытия моря

Последние годы в ЦКП Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН адаптируются существующие и создаются новые технологии расчета параметров ледового покрытия для информационного обеспечения решения двух упомянутых задач. Это следующие технологии.

1. Расчет кромки льда.
2. Построение композиционных карт температуры (температура поверхности льда в основном определяет его прочность).
3. Оценка характерных размеров льдин на основе вариограмм бинарных изображений льда.
4. Расчет дрейфа льда автоматическими методами по последовательности спутниковых изображений в инфракрасном (ИК-) и видимом диапазонах спектра. Для этого используются собственные методики, обеспечивающие высокую точность расчета дрейфа и надежно работающие при наличии облачности.
5. Расчет сплоченности льда под облачностью по данным пассивных микроволновых измерений. Технология основана на обработке данных радиометров

AMSR-E и AMSR-2 с помощью алгоритма ARTIST Sea Ice (ASI) Университета г. Бремен (Германия) и трех погодных фильтров NASA.

6. Расчет дрейфа льда под облачностью по данным пассивных микроволновых измерений. Это позволяет рассчитывать дрейф несколько раз в день и прогнозировать перемещения ледовых полей, используя для этого изображения с высокой детальностью, например, изображения радиометров MODIS или локаторов с синтезированной апертурой Sentinel-1.

7. Создан и проходит апробацию метод расчета направления и сжатия льда.

Для высокоточного расчета нагрузок на добывающие платформы и безопасной проводки судов имеющиеся технологии необходимо подбирать, обеспечивая извлечение с требуемой точностью необходимых физических параметров природной среды. Для этого Спутниковый центр ДВО РАН развивает как техническую базу мониторинга окружающей среды, так и адаптирует существующие и создает новые технологии расчета необходимых параметров ледовых полей.

Имеющиеся технические возможности Спутникового Центра ДВО РАН

В Центре коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН (Спутникового Центра ДВО РАН) круглосуточно работают службы приема данных с полярно-орбитальных и геостационарных спутников на основе четырехантенного комплекса; обеспечиваются накопление архивов, распределенная обработка и поставка через Интернет базовых видов информации, принимаемой со спутников NOAA, HIMAWARI-8, AQUA, TERRA, METOP, SUOMI-NPP, JSPP01, Метеор-М (www.satellite.dvo.ru). Обработку данных выполняет распределенная система обработки (PCO) спутниковых данных [13, 16]. Для информационного обеспечения мониторинга динамических параметров океана и атмосферы был создан ряд уникальных технологий на основе современных мировых и собственных разработок. Все технологии взаимосвязаны в единый цикл обработки для получения максимально точных параметров термодинамики поверхности океана. Высокоточные алгоритмы географической привязки, обеспечивающие пиксельную точность и прогнозирующие параметры привязки, позволили проводить автоматически расчет скоростей перемещений маркеров по последовательности спутниковых изображений. Подход к расчету скоростей перемещений морских маркеров, примененный к расчету дрейфа льда по данным различных спектральных каналов (ИК, видимый, микроволновой), позволяет вести разработку алгоритмов расчета сплоченности льда и его сжатия посредством оценки направления сжатия и величины.

Дрейф льда

Определение дрейфа льда по спутниковым данным занимает значительное время и в оперативном режиме, практически, не применяется [8, 22, 28, 9]. Для решения задачи автоматического расчета скоростей перемещения ледяного покрова моря часто используется метод максимальной кросс-корреляции (МКК) яркости прослеживаемой площадки на двух последовательных во времени изображениях в ИК- или видимом диапазонах спектра [25]. Созданный на основе модификации метода МКК новый алгоритм расчета векторов перемещений [1] позволил существенно повысить точность и надежность применяемого подхода. Отличительной чертой нового метода является введение оценки априорной точности расчета скорости для отбраковки некорректно построенных векторов и ряд приемов повышения точности и надежности проводимых расчетов.

Новый критерий отбраковки построенных векторов представляет собой априорную оценку точности расчета скорости. Оценка базируется на естественном предположении, что точность зависит от свойств автокорреляционных функций

площадок и величины полученной кросс-корреляции C^* : Чем выше величина кросс-корреляции и чем резче убывают автокорреляционные функции при движении от центра площадок к их границам, тем выше точность расчета перемещения. Для полученной величины кросс-корреляции C^* делаются сечения автокорреляционных функций площадок на этом уровне. Для каждого шаблона ищется максимальное расстояние от центра площадки до точек изолинии сечения (R_1 и R_2). Схема расчета приведена на рис. 1.

Критерий априорной оценки точности имеет размерность скорости и рассчитывается по формуле:

$$AK = R^*/\Delta t,$$

где Δt – временной интервал между изображениями, а $R^* = \max(R_1, R_2)$. Отбраковка осуществляется по заданному порогу. Эксперименты показали, что величина априорной точности АК обычно в 2 раза хуже, чем точность расчета, что можно использовать для контроля качества строящихся карт дрейфа льда.

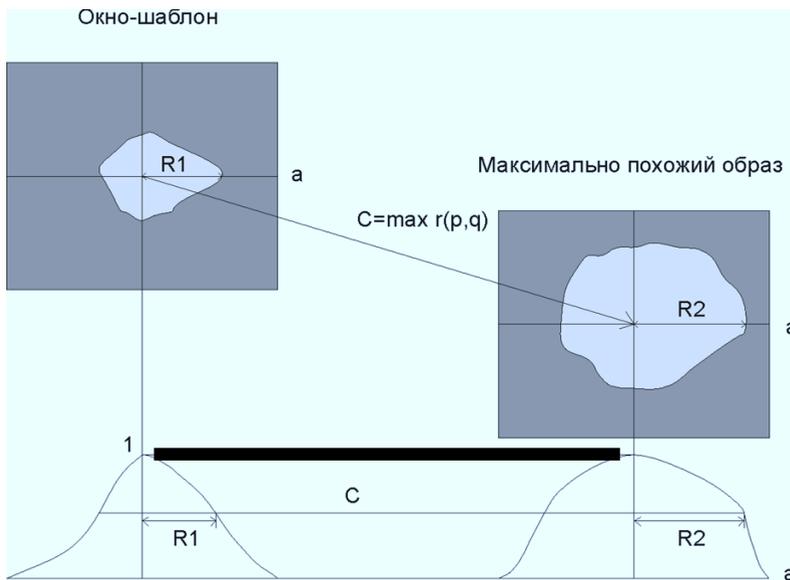


Рис. 1. Формы сечений автокорреляционных функций двух площадок и соответствующие вертикальные разрезы этих функций по линии «а». Светлые области - области автокорреляционных функций, которые больше величины максимальной кросс-корреляции C^*

Для повышения надежности и точности расчетов также был улучшен критерий похожести площадок. Применялся индекс качества изображений IQI , использующийся для оценки близости изображения-эталона и того же изображения с шумами различных типов [30]. Считается, что он наиболее близок к визуальной оценке качества изображений и представляет собой произведение трех положительных, нормированных на единицу величин:

$$IQI = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2} \cdot \frac{2 \cdot \bar{I}_1 \bar{I}_2}{\bar{I}_1^2 + \bar{I}_2^2} \cdot \frac{2 \cdot \sigma_1 \sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (1)$$

где первый множитель – это коэффициент корреляции яркостей двух площадок с нулевыми средними значениями (σ_1, σ_2 - соответствующие стандартные отклонения), второй множитель характеризует близость средних яркостей I , а третий – близость контрастов. Максимальная величина индекса равняется единицы при полном совпадении изображений. Поскольку средняя яркость используемых радиационных температур ИК-изображений может меняться значительно за период между моментами получения изображений, то в качестве параметра похожести площадок в этом критерии была произведена замена второго множителя на более приемлемый. Модифицированный критерий сходства изображений мера похожести имеет такое выражение

$$K = r^\alpha \cdot E^\beta \cdot S^\gamma(2), \quad (2)$$

где α, β, γ – положительные величины, E – нормированное рассогласование яркостей площадки первого изображения с яркостями площадки второго изображения, сдвинутой относительно первой на вектор перемещения (p, q) :

$r(p, q) = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2}$ – коэффициент корреляции;

$E(p, q)$ – нормированное рассогласование яркостей

$$E(p, q) = 1 - \frac{1}{e_1 + e_2} \sum_j \sum_i | [I(i, j) - \bar{I}_1] - [I(i + p, j + q) - \bar{I}_2] |$$

$$e_1 = \sum_j \sum_i | I(i, j) - \bar{I}_1 | \quad e_2 = \sum_j \sum_i | I(i + p, j + q) - \bar{I}_2 |$$

I – яркость пиксела,

$$S = \frac{2 \cdot \sigma_1 \sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \text{ - дисперсия.}$$

Метод прошел верификацию как для построения карт дрейфа льда, так и карт скоростей поверхностных течений [2, 3]. При расчете дрейфа льда метод демонстрирует точность около 5 см/сек, что соответствует наилучшей получаемой точности современными методами, обеспечивая при этом построение более детальных карт (используется меньший размер площадок и меньший временной интервал между изображениями).

Значительной проблемой при расчете дрейфа являются облачные условия, когда информацию о положениях ледяных полей можно получить только по данным микроволновых измерений. Использование локационной съемки полностью решает проблему надежности и точности расчета дрейфа, но не обеспечивает необходимую регулярность. Поступление информации о ледовых полях для произвольной выбранной акватории несколько раз в день обеспечивают микроволновые радиометры, такие как SSM/I, AMSR-E, AMSR2. Широко используются данные радиометров SSM/I спутников DMSP, технологии обработки которых созданы в конце 90-ых годов [29]. Современное состояние технологий обработки данных детально описано в работе [26]. Данные технологии с некоторыми улучшениями применяются до сих пор для обработки измерений с различных типов микроволновых радиометров [27]. Грубое пространственное разрешение изображений приводит к использованию большого размера площадок (с линейными размерами около 100 км). Из-за высоких требований к точности расчета дрейфа льда временные интервалы между используемыми изображениями также велики – 1-3 дня обычно. Большой размер площадок приводит к усреднению полей течений синоптического масштаба, на который приходится

основная кинетическая энергия океана. Использование значительных временных интервалов приводит к усреднению скоростей дрейфа, с характерными периодами колебаний менее суток. К таким колебаниям можно отнести приливные и инерциальные колебания, знание которых часто важно знать, например, при проводке судов во льдах.

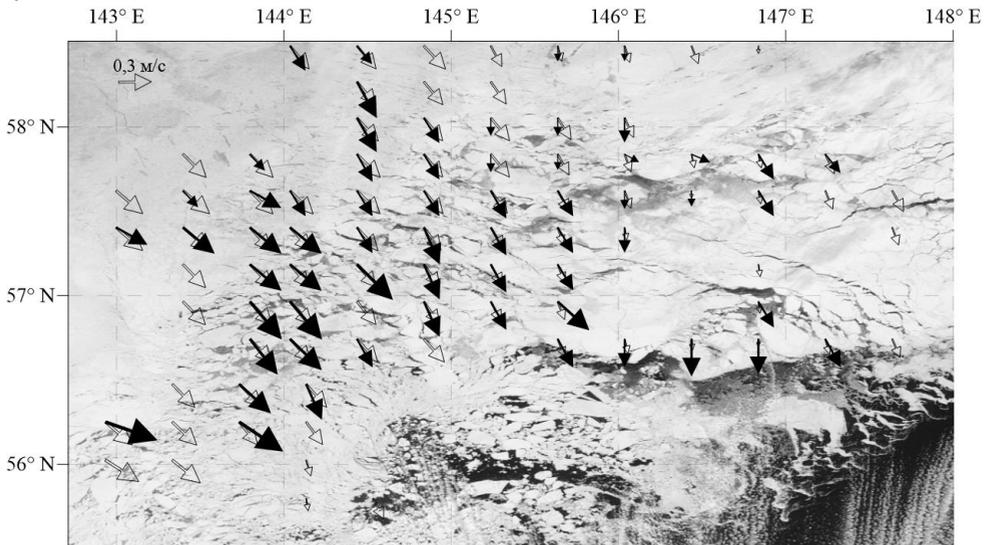


Рис. 2. Скорости дрейфа льда по микроволновым данным (черные вектора) и вектора, рассчитанными по данным радиометра MODIS (серые вектора), наложенные на изображение льда радиометра MODIS за 24.02.2013 г.

Применение разработанного метода расчета скоростей перемещений к изображениям по данным пассивных микроволновых зондировщиков AMSR позволяет получать ежедневные карты дрейфа льда без значительных пропусков [5, 6]. В качестве входных изображений используются карты сплоченности льда, для построения которых был адаптирован алгоритм ASI (университета г. Бремен), рассчитывающий сплоченность по данным спектральных каналов 89 ГГц микроволновых радиометров AMSR-E и AMSR2. Адаптированный к ледовому покрытию моря метод расчета скоростей перемещений позволил уменьшить размер прослеживаемых площадок при высокой точности расчета скоростей. Метод обнаруживает области, заперенные «тяжелой» облачностью (некорректная сплоченность льда). Достоинство созданной технологии расчета скорости дрейфа льда в сравнении с лучшими мировыми аналогами состоит в более высокой детальности карт без потери точности и отсутствии ложных векторов в областях нелинейной динамики льда (рис. 2).

На рис. 2 приведен пример сравнения векторов, построенных по микроволновым данным, с эталонными векторами, построенными по данным видимого канала радиометра MODIS/AQUA. Высокая надежность расчета скоростей дрейфа льда позволяет использовать метод для коррекции результатов сплоченности льда. В силу частичной прозрачности облачности при зондировании на частоте 89 ГГц алгоритм позволяет выделять области, когда изображения были заперены облачностью (в таких областях вектора дрейфа льда не строятся). Применение нового метода показывает, что из-за значительной пространственной изменчивости яркости льда

скорости его дрейфа строятся в подавляющем числе случаев. Это позволяет получать ежедневные поля дрейфа без значительных пропусков.

Высокая точность и надежность алгоритма позволили его применять для расчета характеристик сжатия льда по последовательности изображений [4]. Получены первые результаты с расчетами зон сжатия льда, направлений сжатия и его величин.

Расчет сжатия ледяного покрова моря по спутниковым изображениям

Ледовые сжатия, возникающие в замерзающих морях вследствие неравномерности дрейфа льда, относятся к наиболее опасным для судоходства гидрометеорологическим явлениям [7]. Многолетние исследования столь серьезного природного феномена позволили выявить основные его черты и закономерности, как, например, взаимосвязь сжатия льдов и интенсивного дрейфа [17]. Дрейф, деформация, сжатие льда – это все проявления динамики ледяного покрова. Согласно руководству по методам измерений характеристик динамики ледяного покрова [23] под «чистой» динамикой ледяного покрова моря понимают изменчивость во времени расположения элементов льда. Под сжатием понимают уменьшение расстояний между отдельными льдинами, которое приводит к увеличению сплоченности дрейфующих льдов (<http://www.aari.nw.ru/gdsidb/glossary/r1.htm>). Однако, помимо расчета положения таких зон, важной характеристикой является направление сжатия, знание которого существенно влияет на эффективность ледовой проводки судов [11].

Основные причины возникновения сжатия льдов – различия в скорости и направлении дрейфа. Направление, степень, площадь распространения и продолжительность действия сжатий зависят от пространственно-временной изменчивости внешних сил, действующих на ледяной покров (ветер, течения, приливо-отливные явления), а также от неоднородности свойств самого ледяного покрова (толщина и торосистость льда) [12].

Обычно балльность ледового сжатия определяется визуально по виду ледового поля [17]. Для формализации определения сжатия льда часто используют скорость смыкания кромок проложенного во льдах канала за ледаколом [7, 20]. Методическая проработанность подхода к определению параметров зон сжатия остается недостаточной. Конкретные методики определения направления сжатия ледового поля по спутниковой информации отсутствуют. Несмотря на имеющиеся технологии в обработке спутниковых данных, интерактивные методы интерпретации по-прежнему преобладают (<http://shipslib.com/device/ib/al5.html>; <http://refdb.ru/look/1190722-pall.html>).

Нами предложен подход к определению зон сжатия льда и автоматическому расчету величины и направления сжатия. В основе подхода лежит анализ поля скоростей перемещений ледовых полей. Сжатие-разрежение можно рассматривать как простейшую форму деформации льда, характеризующуюся удлинением-укорочением элементов ледового поля вдоль действия растягивающей/сжимающей нагрузки [<http://www.aari.ru/resources/m0033/d.htm>]. Суть предлагаемого подхода состоит в том, что сжатие в заданном направлении рассматривается как уменьшение расстояния между перемещающимися точками наблюдения, а разрежение, наоборот, увеличение расстояния между ними. В этом случае локальный показатель сжатия или разрежения S определяется как изменение расстояния в единицу времени между перемещающимися точками (рис.3а). Строится «роза» направлений сжатия или разрежения (рис.3б). Генеральным направлением оси сжатия или разрежения в окрестности заданной точки поля считается направление, на котором сумма проекций дает минимум или максимум соответственно (рис.3в). Параметры сжатия/разрежения характеризуются также точностью расчета и статистической значимостью.

Анализируются статистически значимые оценки относительного сжатия при заданной точности расчета.

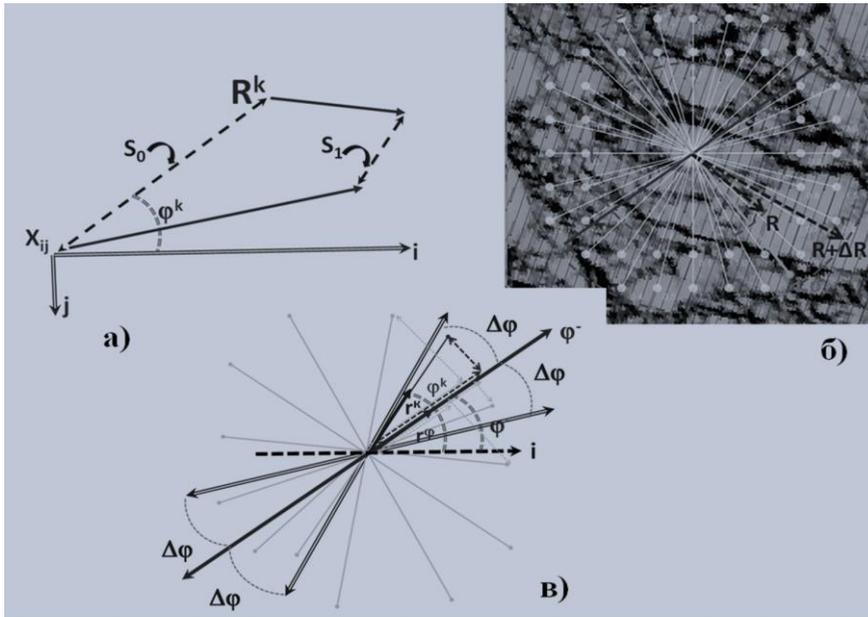


Рис. 3. Схема расчета параметров сжатия: а – схема расчета локальных показателей сжатия C_{ij}^k ; б – фрагмент карты дрейфа льда и «роза» локальных показателей сжатия в окрестности исследуемой точки в торе Ω с радиусами R , $R+\Delta R$, красными цветом указано направление сжатия, а зеленым цветом – направление разрежения; в – схема расчета показателя сжатия C^-

Основные рассчитываемые параметры сжатия/разрежения.

Локальное сжатие-изменчивость вектора R_k со временем:

$$C_{ij}^k = (S_1 - S_0) / \Delta t \quad (3)$$

где Δt – временной интервал между изображениями, S_0 , S_1 – длины R_k .

Ориентацию оси сжатия определяет угол ϕ .

$$C^\phi = \min_{\phi} 1 / N \sum C^k \cdot (r^\phi \cdot r^k), \quad (4)$$

Скалярная величины сжатия определяется как:

$$C^- = 1 / n \cdot \sum C^k / \cos(\phi^- - \phi^k) \quad / \phi^- - \phi^k | < \Delta \phi \quad (5)$$

Относительная ошибка расчета сжатия:

$$\Delta C^- / C^- = \sigma_C \cdot t_{f,0.95} / \sqrt{n} / C^- = \alpha, \quad (6)$$

$t_{f,0.95}$ - Student coefficient for $f=n-1$

Оценка ошибки расчета направления $\Delta \phi^-$:

$$C^- \cdot C^- \cdot \cos \Delta \phi^- = \alpha C^- \Rightarrow \Delta \phi^- = \arccos(1 - \alpha) \quad (7)$$

На рис. 4 приведен пример пары фрагментов изображений MODIS/AQUA. Сжатие льда можно наблюдать визуально по ширине трещины около 500 м расколотой льдины в центре изображения слева и ее же, сжатую, на рисунке 5 справа. Близость направлений скоростей ветра с направлениями векторов дрейфа льда говорит о ветровом характере последнего. По данным судового журнала ледокола «Магадан» в это время и в этом районе наблюдалось сжатие ледового поля с балльностью 1-2.

Предлагаемый метод оценки относительного сжатия льда фактически рассчитывает аналог конвергенции поля скоростей дрейфа по направлению, дающему максимум сжатия. Величины относительных сжатий небольшие – от одного до 5% расстояний между льдинами. Задаваемая точность расчета скоростей дрейфа льда выбрана рабочей – 5 см/сек. Она обеспечивает довольно плотное поле дрейфа льда.

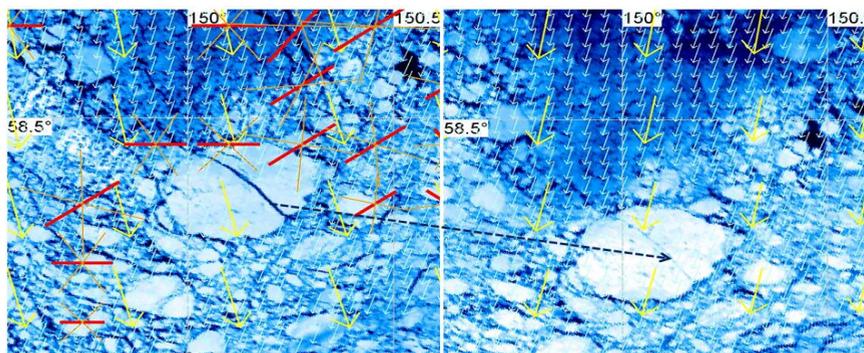


Рис. 4. Пример визуально наблюдаемого сжатия ледового покрова моря на фрагментах изображений MODIS\AQUA: слева – за 5 апреля 2010, справа – за 6 апреля 2010 года. Красные и зеленые отрезки – статистически значимые величины относительного сжатия и разрежения соответственно. Желтые вектора – скорости ветра, голубые вектора – автоматические рассчитанные скорости дрейфа. Тонкими желто-красными линиями обозначен допустимый створ ориентации оси сжатия $\Delta\varphi^-$

Ключевой вопрос любого создаваемого алгоритма – точность расчета оцениваемых параметров. К сожалению, для автоматически рассчитываемой величины сжатия возможно сопоставление только с визуально-ручными оценками, получающимися по тем же изображениям. Скорость смыкания канала – локальная характеристика. Во-вторых, расчет по изображению – это усредненное сжатие по большой площади. Мы использовали достаточно грубую оценку допустимой точности расчета сжатия $\alpha=0.5$, что соответствует ошибке расчета сжатия в 50%. Улучшение допустимой точности также приведет к уменьшению информативности метода. Кроме того, использовалась линейная модель сжатия – равномерное сжатие по каждому выбранному направлению.

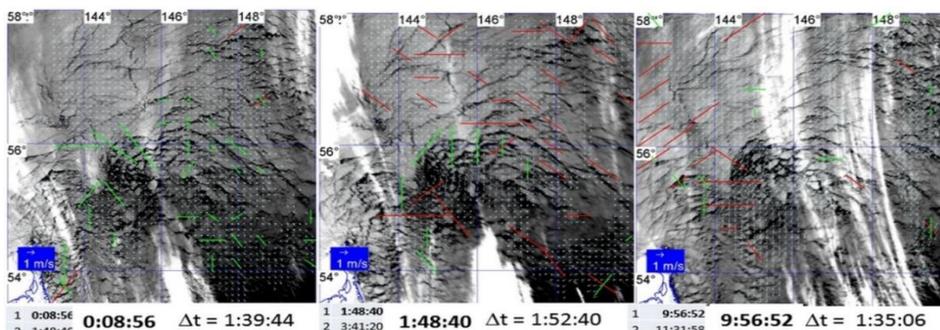


Рис. 5. Зоны мгновенных сжатий (красный цвет) и разрежений (зеленый цвет) при допустимой относительной ошибке 0,5 на банке Кашеваров за 4 марта 2016 года

На рис. 5 представлена картина «волны сжатия» по трем парам квазимгновенных изображений в инфракрасном диапазоне по данным радиометра AVHRR\NOAA. Сжатия можно считать квазимгновенными, так как интервал расчета скоростей дрейфа менее двух часов. Наблюдается хорошее количественное соответствие визуальной картины и результатов автоматического расчета сжатия/разрежения льда. Выбранный нами район банки Кашеварова - сложный район, т.к. в одном месте наблюдаются разные типы приливов – от полусуточных до суточных, правильных и неправильных, которые рассчитываются в основном теоретически [18]. Чтобы корректно интерпретировать рассчитанные параметры сжатия/разрежения льда на банке Кашеварова необходимо знать границы с разными приливными характеристиками. Предлагаемый метод имеет возможность уточнить приливные характеристики в регионе.

Заключение

Для мониторинга ледяного покрытия моря средствами ДЗЗ в Спутниковом центре ДВО РАН созданы оригинальные технологии. Эти технологии позволяют оперативно поставлять детальные карты льда с разделением льда и облачности; строить временные композиции изображения для последующего определения кромки льда; в условиях облачности строить карты сплоченности по данным пассивных микроволновых измерений радиометров AMSR-E и AMSR-2; автоматически рассчитывать скорости дрейфа льда по последовательности спутниковых изображений в разных спектральных диапазонных. Создаваемые технологии внедряются в форме программных комплексов в Спутниковый центр ДВО РАН (г. Владивосток) [24]. Одной из его задач является создание новых технологий ДЗЗ и организации информационного обеспечения потребителей северо-восточного региона страны. Спутниковый центр имеет многолетний опыт информационного обеспечения рыбопромысла в Дальневосточном регионе, проводки судов во льдах, морских исследовательских экспедиций. Имеется успешный опыт совместного поиска потерявшихся судов в штормовых условиях зимнего моря [14], мониторинга распространения радиоактивных загрязнений при аварии на АЭС Фукусима [15].

Литература

1. *Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю.* Автоматический расчет скоростей перемещений ледовых полей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т. 8. № 2. С. 9-17.
2. *Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю.* Автоматический расчет скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2013. Т.10. № 2. С. 131-142.
3. *Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Загуменнов А.А., Шувалов Б.В.* Верификация автоматического метода расчета скоростей поверхностных течений по последовательности спутниковых изображений // Тез. Межд. научн. конф. «Современное состояние и перспективы наращивания морского ресурсного потенциала Юга России». 15-18 сентября 2014 г., пгт. Качивели, Республика Крым. ЭКОСИ-Гидрофизика. Севастополь: МГИ. 2014. С. 65-66.
4. *Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю.* Расчет сжатия ледяного покрова моря по спутниковым изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017. Т. 14. № 7. С. 210-224.
5. *Алексанин А.И., Стопкин М.В.* Автоматический расчет дрейфа льда по данным пассивного микроволнового зондирования // Тез. XII Всерос. открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 10-14 ноября 2014. - М.: ИКИ РАН. 2014. С. 230.
6. *Алексанин А.И., Стопкин М.В., Качур В.А.* Автоматический расчет дрейфа льда по данным радиометров AMSR // Исследование Земли из космоса. 2017. № 1. С. 13-23.

7. *Апполонов Е.М., Сазонов К.Е., Бокатова Е.А.* О вероятности заклинивания судов при сжатии // Мир транспорта. 2012. Т. 10. № 4 (42). С. 4-9.
8. *Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Пяткин В.П.* Программные технологии в космическом мониторинге ледяного покрова Арктики // Журн. Сиб. фед. ун-та. Техника и технологии. 2015. Т. 8. № 6. С. 680-689.
9. *Бабич Н.Г.* Выбор пути плавания во льдах и оценка результативности использования данных навигационной ледовой информации // Земля из космоса. 2011. Вып. 10. С. 28-33.
10. *Беккер А.Т.* Вероятностные характеристики ледовых нагрузок на сооружения континентального шельфа. - Владивосток: Дальнаука. 2005. 346 с.
11. *Гольдштейн Р.В., Осипенко Н.М.* Механика разрушения и проблемы освоения Арктики // Арктика: экология и экономика. 2015. Т. 4. № 20. С. 14-27.
12. *Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И.* Численная модель эволюции ледяного покрова арктических морей для оперативного прогнозирования // Лед и снег. 2015. Т. 55. № 3. С. 83-96.
13. *Левин В.А., Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Дьяков С.Е., Недолужко И.В., Фомин Е.В.* Разработка технологий спутникового мониторинга окружающей среды по данным метеорологических спутников // Открытое образование. 2010. № 5. С. 41-49.
14. *Левин В.А., Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В., Громов А.В., Наушкин Ю.В., Фомин Е.В., Стопкин М.В.* Спутниковый мониторинг ледовой обстановки в Охотском море // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2011. Вып. 10. С. 44-49.
15. *Левин В.А., Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В., Громов А.В., Дьяков С.Е., Загуменнов А.А., Ким В., Стопкин М.В., Фомин Е.В.* Технологии спутникового мониторинга атмосферы и поверхности океана района АЭС Фукусима // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №1. С.187-196.
16. *Недолужко И.В.* Интеграция ресурсов Центра коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН в среду SSE Европейского космического агентства // Вычислительные технологии. 2010. № 4. С.116-130.
17. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / под ред. Е.У. Миронова. - СПб.: ААНИИ. 2010. 319 с.
18. *Шевченко Г.В., Тамбовский В.С.* Динамика дрейфа льда на северо-восточном шельфе острова Сахалин по данным измерений радиолокационными станциями. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2018. 136 с.
19. *Уварова Т.Э.* Вероятностная оценка истирающего воздействия дрейфующего ледяного покрова на морские гидротехнические сооружения // Дисс... докт. техн. наук. 2012. 152 с.
20. *Сазонов К.Е.* Теоретические основы плавания судов во льдах. - СПб.: ЦНИИ им. ак. А.Н. Крылова. 2010. 274 с.
21. *Сливаев Б.Г.* Подготовка судна к плаванию во льдах: учебное пособие. - Владивосток: ИПК МГУ им. Г.И. Невельского. 2017. 67 с.
22. *Смирнов В.Г., Бушугев А.В., Захваткина Н.Ю., Лоцилов В.С.* Спутниковый мониторинг морских льдов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85), с.62-76.
23. *Степанюк И.А., Смирнов В.Н.* Методы измерений характеристик динамики ледяного покрова. - СПб.: Гидрометеиздат. 2001. 136 с.
24. Центры коллективного пользования Российской академии наук. - М.: Наука. 2004. 192с.
25. *Emery W.J., Thomas A.C., Collins M.J., Crawford W.R., Mackas D.L.* An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images. J. Geophys. Res., 1986, 91, No.C11, pp.12865-12878.
26. *Lavergne T., Eastwood S., Teffah Z. et al.* Sea ice motion from low-resolution satellite sensors: An alternative method and its validation in the Arctic // J. of geophysical research. 2010. Vol. 115, C10032. 14 p.
27. *Hwang B.* Inter-comparison of satellite sea ice motion with drifting buoy data // Intern. J. of Remote Sensing. 2013. Vol. 34, № 24. P. 8741-8763.
28. *Kwok R.* Satellite remote sensing of sea-ice thickness and kinematics: a review // Journal of Glaciology, Vol. 56, No. 200, 2010, pp.1129-1140.
29. *Maslanik T., Agnew M., Drinkwater W. et al.* Summary of ice-motion mapping using passive microwave data / National Snow and Ice Data Center (NSIDC). [S. 1], Nov. 1998. 25 p. (Special Publication 8) (http://nsidc.org/pubs/special/nsidc_special_report_8.pdf).
30. *Wangand Z., Bovik A.C.* A universal image quality index // IEEE Signal Processing Letters. 2002. Vol. 9, p. 81-84.

А.Ф. Щербатюк¹

О решении некоторых задач экологического и биологического мониторинга с использованием морских робототехнических комплексов ИПМТ ДВО РАН: краткий обзор

Введение

В условиях увеличения динамики природных факторов и промышленной деятельности, влияющих на биопродуктивность акваторий и распределение биоресурсов, традиционные гидробиологические методы исследований (драги, дночерпатели, донные тралы) не могут обеспечить достоверность учета, точность прогнозирования и оценку экономических рисков в отношении морских биоресурсов и биоразнообразия. Ошибки в таких ресурсных оценках и неэффективное прогнозирование приводят к подрыву биоресурсной базы [1, 2]. В то же время, эти задачи могут быть успешно решены с использованием подводной робототехники, способной осуществлять автоматизированный учет и мониторинг отдельных биоресурсных видов, используя программы распознавания образов, оценки линейных размеров и биомассы и подсчета образцов на сколь угодно большой площади морского дна, обеспечивая статистическую достоверность и наглядность всей получаемой информации [3-8].

В последние годы все большее развитие получают исследования, связанные с изучением состояния морских акваторий и влияния на них антропогенных воздействий. Особое внимание привлекают процессы распространения различных инородных веществ, связанные с бытовой и промышленной деятельностью, а также с засорением окружающей среды посредством выбрасывания источников загрязнения в море. Одним из примеров неоднородностей внешней среды является шлейф, который образуется в результате сброса технологических отходов из трубы или вблизи впадения рек, в которые выводятся промышленные стоки. Задачами обследования могут быть локализация (оконтуривание) образовавшегося района с повышенной концентрацией примеси или определение источника загрязнения.

Традиционные методики получения проб с использованием судов в общем случае дороги и не обеспечивают детального покрытия акваторий. Очевидно, что морские робототехнические комплексы (МРК), включающие автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), способны исследовать процессы в морской среде в течении продолжительного времени и на значительных дистанциях. АНПА обеспечивают эффективное выполнение мониторинга окружающей среды и собранные с их помощью данные позволяют осуществлять предсказательное моделирование для принятия решений и регулирования, например, выбросами отработанных вод. Когда цель обследования состоит в определении источника загрязнения или локализации (оконтуривании) границ шлейфа, АНПА может обеспечить более эффективное решение данной задачи с использованием адаптивных алгоритмов формирования траекторий движения [9]. Для того, чтобы обеспечить движение АНПА вдоль заданной траектории, необходимо на борту подводного аппарата иметь возможность определять местоположение с высокой точностью и корректировать траекторию АНПА в случае отклонения ее от заданной, например, из-за наличия течения в районе работ. Предполагается, что автономный аппарат оснащен навигационной системой, предназначенной для определения собственного местоположения с заданной точностью, и необходимыми датчиками параметров водной среды и растворенных в ней примесей.

¹ Директор Института проблем морских технологий ДВО РАН, член-корреспондент РАН

Ниже рассмотрены некоторые задачи организации пространственного мониторинга и приведены некоторые практические результаты оценивания параметров среды в заданной акватории, полученные с использованием МРК, разработанных в ИПМТ ДВО РАН.

1. Формирование траекторий обследования заданной акватории

Измерение заданного поля в области прямоугольной формы с использованием одиночного АНПА чаще всего осуществляется с помощью траектории типа меандр, которая позволяет достаточно просто организовать съемку в заданной области с минимальным количеством перекрытий. Она представляет собой набор длинных параллельных между собой галсов, соединенных короткими перпендикулярными галсами. Шагом меандра является расстояние между длинными параллельными галсами. При использовании такой траектории аппарат большую часть времени перемещается по прямолинейной траектории и выполняет измерения вблизи некоторой регулярной сетки, что позволяет использовать широкий спектр алгоритмов интерполяции для картографирования полученных данных. При движении постоянным меандром шаг подбирается перед началом операции на основе априорной информации таким образом, чтобы на основе полученных измерений можно было восстановить поле с требуемой точностью.

Из требования измерения поля с заданной точностью за оптимальное время вытекает необходимость более информативные области, в которых измеряемый параметр изменяется значительно сильнее, обследовать более частым покрытием, а менее информативные – более редким покрытием. Для этого предложено использовать траекторию типа меандр с переменным шагом, который предлагается формировать в соответствии с текущей характеристикой информативности поля. Задача при этом заключается в необходимости планирования движения таким образом, чтобы с одной стороны исключить возможность пропуска отдельных участков, а с другой стороны – минимизировать области перекрытий.

Для решения данной задачи разработано алгоритмическое обеспечение [12, 13], позволяющее формировать для АНПА траекторию движения типа меандр с переменным шагом, который с одной стороны позволяет минимизировать область перекрытий при смене шага меандра, а с другой – обеспечивает съемку указанной акватории без пропусков. Данный алгоритм использует несколько уровней детализации, количество которых ограничено некоторым минимальным шагом меандра.

При использовании группы АНПА для выполнения задания появляется возможность повысить скорость и надежность выполнения миссии по сравнению с применением одиночного аппарата. Увеличение скорости выполнения миссии достигается путем оптимизации времени ее выполнения [10-16]. Надежность или вероятность успешного выполнения миссии обеспечивается контролем ее выполнения и корректировкой в случае возникновения внештатных ситуаций. Для этого при централизованном подходе используется планировщик, расположенный в центральном узле и имеющий информацию о миссии и о ходе ее выполнения.

Общая задача разбивается на составные части (неделимые задания), которые выполняются параллельно различными АНПА, что приводит к уменьшению времени выполнения операции. В [10, 11, 14] показано, как это может быть сделано для задачи поиска локальных неоднородностей морской среды, а также рассмотрено, как осуществить такое разбиение при обследовании акватории с использованием адаптивных траекторий, формируемых в режиме реального времени на основе текущей информации об измеряемом поле.

Задание для АНПА может заключаться в выполнении определенного галса, покрытии заданного участка меандром, следованию вдоль протяженного объекта, возвращению в точку старта и т.д. При планировании операции существенным является время выполнения задания и время, необходимое для переходов между заданиями. Таким образом, для каждого задания необходимо знать место начала его выполнения, место окончания его выполнения и время, необходимое для его выполнения. В случае если некоторые из этих параметров неизвестны (например, время, необходимое для выполнения галса в процессе адаптивного формирования траектории), следует получить их оценку и использовать ее при планировании.

Задачу можно считать решенной, если выполнены все задания. Полагается, что в качестве времени выполнения общего плана берется максимум из времени работы каждого аппарата. Планирование состоит в поиске такого общего плана, который включает все задания и при этом минимизирует общее время работы. Процедура планирования построена на основе алгоритмов, решающих точно или приближенно задачу группы коммивояжеров. Подробнее данная модель и соответствующие алгоритмы рассмотрены в [10].

Централизованная система управления группой морских роботов была реализована в рамках комплекса МАРК, который включает АНПА [22] и автономный необитаемый водный аппарат (АНВА) [23]. В качестве центрального узла выступает компьютер поста оператора. Он решает задачу планирования и отправляет каждому аппарату описание его плана. При выполнении очередного задания аппарат отправляет соответствующее сообщение на пост оператора. Каждый аппарат периодически отправляет также сообщение о своем текущем состоянии (местоположение, наличие/отсутствие текущего задания, наличие/отсутствие команды телеуправления). В случае изменения состава группы, связанного с выходом из строя аппарата или добавлением нового АНПА, планировщик осуществляет перепланирование.

2. Краткий обзор морских работ, выполненных в рамках проектов, связанных с экологическим и биологическим мониторингом акваторий

Первый опытный эксперимент по практическому использованию АНПА «Скат» [25] для гидрохимической съемки на озере Байкал вблизи района сброса промышленных стоков бумажно-целлюлозного комбината был выполнен летом 1974 года совместно с лимнологическим институтом и институтом неорганической химии СО АН СССР. Для его обеспечения использовалось научно-исследовательское судно (НИС) «Г.Ю. Верещагин». Подводный аппарат был оборудован гидрохимическим датчиком (ГХД), разработка которого осуществлялась в Институте неорганической химии (ИНХ) СО АН СССР. Результаты проведенного эксперимента позволили усовершенствовать подводный аппарат и методики проведения подобных работ. Полученные данные позволили сделать выводы относительно экологического состояния вод Байкала, примыкающих к комбинату.

Оценка биоразнообразия донных сообществ. Один из первых проектов по мониторингу биоразнообразия выполнялся в рамках договора с ТИНРО. Работы по обследованию дна с целью поиска скоплений донных гидробионтов выполнялись совместно на НИС «Импульс» и НИС «Гастелло» в период с 2001 по 2002 год с использованием полуавтономного НПА TSL [17, 18], оснащенного тонким оптоволоконным кабелем связи с постом оператора. В рамках договора в течение 30 дней выполнено около 80 пусков подводного аппарата.

Одним из объектов исследования являлись скопления трепанга на анфельции в районе пролива Старка и бухты Иванцева. Другим объектом исследования являлись скопления кукумарии. Работы проводились в районе островов Верховского, Рикорда,

Рейнеке, Кротова, Циволько, а также в районе мыс Ахлестышева – мыс Вятлина в акватории залива Петра Великого. При выполнении работ в районе островов Верховского, Рейнеке и Циволько были проведены пуски, во время которых подводный аппарат производил съемку в районе свала, где пологий песчано-каменистый грунт переходил в скальные разломы, вертикальные каменные плиты и каменные валуны.

Выполненные исследования показали, что установленные на НПА TSL видеосистема и цифровая фотосистема обеспечивают выполнение поиска скоплений донных гидробионтов, позволяют определять виды гидробионтов, оценивать их плотность поселения и размеры особей, а также устанавливать типы донных грунтов. Комплексированная навигационная система НПА обеспечивала определение координат точек съемки с точностью около 10 метров. Установленные на борту НПА гидрологические датчики предназначены для оценки параметров придонного водного слоя в местах обитания гидробионтов. Проведенные работы в районе свалов (среди каменных глыб и валунов) вблизи островов Верховского, Рикорда, Циволько на глубинах от 28 до 45 метров подтвердили возможность использовать НПА в условиях сложного донного рельефа, где затруднительно применение учетных орудий лова, таких как тралы и ловушки. В данных районах использование подводных аппаратов является, по-видимому, единственным средством для выполнения работ, связанных с оценкой биоразнообразия донных гидробионтов.

С 2003 по 2009 год ИБМ и ИПМТ ДВО РАН выполнили совместные исследования по использованию необитаемых подводных аппаратов для оценки биоразнообразия донных сообществ в Морском биосферном заповеднике ДВО РАН. Был проведен сравнительный анализ видео и фото информации, полученной аквалангистами и НПА. Результаты исследования показали, что на основе цифровых цветных изображений, создаваемых НПА, возможна корректная оценка видового состава, характера распределения и плотности поселения бентосных организмов. На основе измеряемой высоты движения НПА над дном и известного угла зрения фотокамеры возможно оценивание линейных размеров гидробионтов и, соответственно, биомассы, а также возрастной структуры популяции.

На акватории Морского заповедника на участке между островами Большой Пелис – Де Ливрона вдоль постоянной подводной трансекты протяженностью 7,5 км в течение нескольких лет проводился видеомониторинг донных ландшафтов. На трансекте выделены 8 полигонов, на каждом из которых НПА TSL выполнял прямолинейные галсы длиной 100-150 м. При выполнении галса на каждом полигоне производилось около 100 снимков донной поверхности, каждый из которых захватывал площадь не менее 0,25 кв. м. С помощью разработанного ПО снимки сшивались в единый массив, позволяющий анализировать участок дна площадью около 25 кв. м. Изображение подвергалось предварительной обработке для устранения неравномерностей освещения, а также выравнивания его цветовых компонент.

Впервые на данных охраняемых акваториях проведено видеосканирование на глубинах, недоступных для легководолазной техники. Проиллюстрирована динамика массовых скоплений офиур на мягких грунтах, формирующая живой субстрат для других бентосных гидробионтов. Получаемая в течение нескольких лет информация в дальнейшем использовалась для сравнительного анализа и изучения динамики изменения популяций.

Отслеживание шлейфов неоднородностей. Осенью 2008 и 2009 года в районе острова Русский вблизи г. Владивостока были выполнены исследования, связанные с оценкой распространения шлейфа пресной и холодной воды от реки Безымянная, впадающей в бухту Воевода с соленой и более теплой водой. Оценка выполнялась на

основе измерения солености и температуры. Испытана технология на основе использования АНПА ММТ-3000 [19-21], позволяющая локализовать шлейф пресной воды, которому соответствовала более холодная и менее соленая вода. В качестве измерителя использовался комплекс CTD зонд SBE-52MP.

Экологический мониторинг. Одним из недавних примеров является работа по оценке экологического состояния в бухте Золотой Рог (г. Владивосток), выполненная в июне 2017 года. Целью работ являлось получение исходных данных для построения трехмерной картины распределения физических и гидрохимических параметров водной среды в бухте вблизи места впадения речки Объяснения. Для выполнения работ использовался АНПА типа ММТ-3000 (рис. 1). АНПА имеет средства гидроакустической связи и навигации, позволяющей оперативно отслеживать перемещения робота и, при необходимости, управлять им.



Рис. 1. АНПА типа ММТ 3000 во время работ в бухте Золотой рог (в верхней части корпуса видны установленные датчики внешней среды)

Для получения исходных данных АНПА выполнил несколько параллельных разрезов (трансект) поперек бухты. Оценки состояния бухты проводилась на основе анализа параметров водной среды, измеренных вдоль траектории движения АНПА и сопряженных с навигационными данными о его движении. Робот обеспечил измерение и запись параметров внешней среды, включающих концентрацию растворенных органических веществ (CDOM) и хлорофилла, проводимость, температуру и мутность воды. Аппарат был оснащен флюорометрами FLCDRТ-926 и FLNTU-665. Для измерения температуры и солености использовался прибор CTD-NV-2406. Сопутствующая навигационная информация включала координаты, курс, крен, дифферент, глубину и скорость движения АНПА.

Для получения картины распределения измеряемых параметров по глубине каждая трансекта включала три взаимобратных рабочих прохода на глубинах 2, 4 и 6 метров. Переход АНПА с одного рабочего горизонта на другой производился в режиме зависания (hovering) с целью минимизации маневров в пределах акватории. При этом робот использовался таким образом, что во время выполнения работ судходство по бухте не останавливалось. В связи с тем, что реальная траектория движения АНПА не совпадает с прямоугольной сеткой (не является прямолинейной), для построения карт

параметров среды в заданной акватории реализованы методы интерполяции на криволинейной сетке [24].

Использование групповой работы МРК. Морские испытания групповой системы управления были проведены в бухте Новик острова Русский Японского моря в 2013 - 2014 годах. Рассматривалась задача покрытия заданного района набором из нескольких параллельных галсов. В экспериментах принимали участие АНПА и АНВА (рис. 2).



Рис. 2. АНПА и АНВА МАРК во время выполнения описанного эксперимента

Использовался модифицированный алгоритм Хельда-Карпа для получения точного решения задачи планирования [10]. Каждое задание имело два варианта, поскольку галс может быть пройден в прямом или противоположном направлении. Целевая скорость движения АНПА и АНВА вдоль галсов и между ними не превышала 1 м/с. АНПА использовался в режиме перемещения по поверхности воды. Связь с обоими аппаратами осуществлялась с помощью радиомодема. Пост оператора располагался на берегу.

Испытания включали несколько серий запусков. Различные серии запусков были предназначены для отработки ситуаций с постоянным и переменным составом группы. Удаление или присоединение АНПА в состав группы осуществлялось посредством передачи ему соответствующей команды телеуправления. После получения команды аппарат передавал посту оператора информацию о том, что он вышел или вошел в состав группы и планировщик осуществлял перепланирование. В процессе морских испытаний была подтверждена работоспособность и эффективность разработанного планировщика для миссий, состоящих из небольшого количества заданий.

3. Выводы

Методики экологического и биологического мониторинга, основанные на использовании НПА, являются на данный момент наиболее современными и экологически безопасными. Они позволяют исследовать протяженные акватории и сохранять целостность биоразнообразия, а также работать на больших глубинах и изучать районы со сложными рельефом и гидрологией.

Литература

1. *Адрианов А.В.* Современные проблемы изучения морского биологического разнообразия // Биология моря. 2004а. Т. 30. № 1. С. 3-19.
2. *Адрианов А.В.* Стратегия и методология изучения морского биоразнообразия // Биология моря. 2004б. Т. 30. № 2. С. 91-95.
3. *Дулепов В.И., Щербатюк А.Ф.* Технология экологического мониторинга прибрежных акваторий с помощью подводных роботов // Экологические системы и приборы. 2001. № 6. С. 22- 23.
4. *Scherbatyuk A.Ph., Dulepov V.I., Jiltsova L.V.* Investigation of bottom habitat diversity in Great Peter Bay using semi AUV TSL, Proceedings of the OCEANS 2003 MTS/IEEE Conference, San-Diego, USA, 2003.
5. *Дулепов В.И., Лелюх Н.Н., Бабак Л.Н., Ваулин Ю.В., Щербатюк А.Ф.* О применении необитаемых подводных аппаратов для исследования водных экосистем // Подводные технологии. №1. 2005. С. 59-67.
6. *Адрианов А.В., Тарасов В.Г., Щербатюк А.Ф.* Применение и перспективы сезонного видеомониторинга на особо охраняемых морских акваториях залива Петра Великого (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2005. №1. С.19-26.
7. *Дулепов В.И., Щербатюк А.Ф.* Современные технические средства в подводных экологических исследованиях. - Владивосток: Дальнаука. 2008. 164 с.
8. *A. Adrianov, A. Scherbatyuk.* Ecological and biological shelf research using UUV in the FEB RAS. Proceedings of Workshop on AUV systems and sensors technology, Kona, Hawaii, 2010.
9. *Бабак Л.Н., Щербатюк А.Ф.* Некоторые методы оценивания состояния водных акваторий с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №5. С.74-78.
10. *Туфанов И.Е., Щербатюк А.Ф.* Разработка алгоритмов группового поведения АНПА в задаче обследования локальных неоднородностей морской среды // Управление большими системами. - М.: ИПУ РАН. 2012. Вып. 36. С. 262-284.
11. *Scherbatyuk A.Ph., Tuphanov I.E.* Algorithms for Underwater Local Heterogeneity Survey Based on AUV Group Usage. Proceedings of the OCEANS 2012 MTS/IEEE Conference, May 21-24, 2012, Yeosu, Korea, ISBN CD-ROM: 978-1-4577-2090-1.
12. *Tuphanov I.E., Scherbatyuk A.Ph.* Adaptive Algorithm of AUV Meander Pattern Trajectory Planning for Underwater Sampling. Proceedings of the Tenth (2012) ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium. Vladivostok, Russia, October 3-5, 2012, ISBN 978-1 880653 93-7: ISSN 1946-004X.
13. *Туфанов И.Е., Щербатюк А.Ф.* Об алгоритмах высокоточного измерения параметров водной среды, основанных на использовании группы АНПА // Управление большими системами. - М.: ИПУ РАН. 2013. Вып. 43. С.254-270.
14. *I. E. Tuphanov and A. F. Scherbatyuk.* Designing Group Behavior Algorithms for Autonomous Underwater Vehicles in the Underwater Local Heterogeneities Survey Problem. Automation and Remote Control, 2015, Vol. 76, No. 5, pp. 885-896.
15. *I.E. Tuphanov, A.F. Scherbatyuk.* A centralized planner considering task spatial configuration for a group of marine vehicles: field test results. Proceedings of the IROS 2015 IEEE/RSJ Conference, September 28 – October 03, 2015, Hamburg, Germany. ISBN: 978-1-4799-9993-4.
16. *Туфанов И.Е., Щербатюк А.Ф.* Некоторые результаты морских испытаний централизованной системы управления группой морских роботов // Управление большими системами. - М.: ИПУ РАН. 2016. Вып. 59. С. 233-246.
17. *M.D. Ageev, A.A. Boreyko, V.E. Gornak, Yu.V. Matvienko, A.Ph. Scherbatyuk, Yu.V. Vaulin, V.V. Zolotarev.* Modernized TSL-Underwater Robot for Tunnel and Shallow-Water

Inspection. Proc. of Intern. Conference. «Underwater Technologies -2000», Tokyo, 22-25 May, 2000.

18. Агеев М.Д., Борейко А.А., Горнак В.Е., Матвиенко Ю.В., Ваулин Ю.В., Золотарев В.В., Щербатюк А.Ф. Модернизированный TSL – подводный аппарат для работы на шельфе и в тоннелях. В сб. «Морские технологии». - Владивосток, Дальнаука. 2000. Вып. 3. С. 23-38.

19. V.E. Gornak, A.V. Inzartsev, O.Yu. Lvov, Yu.V. Matvienko, A.Ph. Scherbatyuk. MMT-3000 – Small AUV of New Series of IMTP FEB RAS. Proceedings of the OCEANS 2006 MTS/IEEE Conference, September 18-21, 2006, Boston, USA, ISBN CD-ROM: 1-4244-0115-1.

20. Yu.V. Vaulin, Yu.V. Matvienko and A.F. Scherbatyuk. Positioning of the Autonomous Underwater Vehicle MMT-3000. Proceedings of the XIVth International Conference on Integrated Navigation Systems, Saint Petersburg, 28-30 May 2007. p. 251-256.

21. Горнак В.Е., Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Щербатюк А.Ф. ММТ-3000 – новый малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат ИПМТ ДВО РАН // Подводные исследования и робототехника. 2007. №1(3). С.12-20.

22. Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Кушнерик А.А., Туфанов И.Е., Щербатюк А.Ф. Малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат МАРК нового поколения для выполнения групповых операций // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. №6. С. 59-65.

23. Гой В.А., Дубровин Ф.С., Кушнерик А.А., Михайлов Д.Н., Сергеенко Н.С., Туфанов И.Е., А.Ф. Щербатюк. Морской робототехнический комплекс, включающий автономные необитаемые подводный и водный аппараты // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. №3. С. 67-72.

24. Alexey Borovick, Alexander Inzartsev, Alexander Kamorniy, Alexander Scherbatyuk, Maxim Sporyshev. Some Results of the Ecological Investigation in Zolotoy Rog Bay using AUV MMT 3000. Proceedings of the OCEANS 2018 MTS/IEEE Conference, Kobe, Japan. ISBN: 978-1-5386-1653-6.

25. Агеев М.Д., Касаткин Б.А., Киселев Л.В. и др. Автоматические подводные аппараты. - Л.: Судостроение. 1981. 223 с.

В.А. Авраменко¹, И.Г. Тананеев², В.И. Сергеенко³

Радиоэкология и мониторинг радионуклидов морей Дальнего Востока

1. Введение

Дальний Восток является форпостом Российской Федерации в Азиатско-тихоокеанском регионе (АТР). Основными современными приоритетами Дальнего Востока сегодня становится: развитие промышленно-хозяйственной и социально-экономической деятельности региона в условиях освоения сырьевых ресурсов, в том числе биоресурсов; создание новых рабочих мест и увеличение народонаселения в среде безопасного и комфортного проживания. В результате систематической

¹ Член-корреспондент РАН

² Директор Школы естественных наук Дальневосточного федерального университета, член-корреспондент РАН

³ Научный руководитель Института химии ДВО РАН, академик РАН

правительственной поддержки Дальнего Востока город Владивосток и 15 районов Приморского края были наделены статусом открытого порта, ведется другая работа по экономическому развитию региона.

Вместе с тем, расширение экономической свободы и предоставление для отечественных инвесторов лучших условий для ведения бизнеса возможно только в условиях обеспечения экологической и радиационной безопасности территории Приморского края.

Основными радиационными объектами Дальнего Востока являются: атомные подводные лодки (АПЛ) с ядерно-энергетическими установками (ЯЭУ); надводные корабли (НК) с ЯЭУ; суда атомного технологического обслуживания (АТО), в том числе, плавучие мастерские (ПМ), хранившие ранее отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) и радиоактивные отходы (РАО); береговые технические базы Военно-Морского Флота (БТБ ВМФ), судоремонтные заводы, где производится утилизация АПЛ, НК, и АТО, пункт временного хранения реакторных отсеков на плаву (ПВХ), береговой пункт длительного хранения РАО и аварийных АПЛ, а также радиоизотопные термоэлектрические генераторы и иные источники ионизирующего излучения (ИИИ).

Первоочередными задачами гарантированного обеспечения их радиационной безопасности выступают: утилизация АПЛ и НК с ЯЭУ; реабилитация бывших БТБ ВМФ, включая ПВХ; вывод ОЯТ АПЛ на переработку; утилизация накопленных РАО; обращение с радиационно-опасными объектами без утилизации. Кроме того, в связи с опасностью использования ИИИ, радиоактивных материалов и объектов с ЯЭУ в террористических целях, потребовалось решать задачи усиления физической защиты, осуществления радиационного мониторинга и аварийного реагирования.

Ниже приведены основные результаты, приведшие к достижению радиационной безопасности территории Дальнего Востока.

2. Основные результаты и их обсуждение

Утилизация АПЛ. Вывод АПЛ из состава ВМФ с последующей комплексной утилизацией начался в 1986 г. Предполагалось завершить вывод все АПЛ устаревших проектов, выслуживших установленные сроки, в течение 5-6 лет. В ходе работы, уже к 90-м годам XX века стало ясно, что промышленность не готова к выполнению поставленных планов, и утилизационные работы превратились в задачу государственного масштаба. Лавинообразное накопление в процессе утилизации АПЛ и НК большого числа радиационно-опасных объектов (ЯЭУ, ОЯТ, РАО) представляло угрозу для окружающей среды. Уже к концу 1997 г. во всех пунктах отстоя находилось уже 157 АПЛ, большая часть которых хранились с ОЯТ на борту, а более 30 имели повреждения с потерей плавучести. Скорость утилизации составляла 2 АПЛ в год, а стоимость ее содержания 4-5 млрд. руб. в год (в ценах 1997-1998 гг.). Объемы же накопленных ОЯТ и РАО превышали возможности мест хранения, а состояние объектов хранения не соответствовало изменившимся требованиям безопасности. С учетом активного вывода АПЛ из состава ВМФ можно было оценить срок завершения процесса от 40 лет [1]. С 1998 г. Постановлением Правительства РФ все функции государственного заказчика по комплексной утилизации АПЛ и НК, реабилитации БТБ, были делегированы ГК «Росатом». Благодаря высокопрофессиональной работе персонала предприятия периметра ГК «Росатом», ученых Дальневосточного отделения Российской академии наук и ВУЗов поставленные выше задачи были выполнены полностью. К 2017 г. из 203 выведенных из состава АПЛ ВМФ 197 уже утилизировано (с выгрузкой ОЯТ из реакторов), две находятся в стадии утилизации. На Дальнем Востоке начаты работы по утилизации большого атомного разведывательного корабля «Урал» и судна АТО «ПМ-124».

Обращение с реакторными отсеками. Обеспечение долговременного хранения реакторных отсеков списанных АПЛ - одно из важных направлений работ по ядерной и радиационной безопасности, связанных с ликвидацией наследия. Технология их переработки на Дальнем Востоке состояла в герметизации, покрытием защитным составом и транспортировке в бух. Разбойник для контролируемого хранения в надводном положении. В дальнейшем блок извлекался из воды, боковые отсеки отрезались, реакторный отсек ставится на длительное 70-летнее хранение на береговую площадку. По состоянию на 2017-2018 гг. в пункте долговременного хранения «Устричный» в Приморском крае предстоит разместить на долговременное хранение 24 реакторных отсека списанных АПЛ. В 2017 г. стартует не имеющий аналогов в мире проект по единовременной транспортировке 12 из 24 трехотсечных блоков АПЛ из Камчатского края в бух. Разбойник для разделки и долговременного хранения. Один трехотсечный блок весит в среднем 1 тыс. т., что дает представление о масштабе операции [2].

Переработка ОЯТ АПЛ. Завершен проект по выводу к месту переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) на Дальнем Востоке, что позволило ликвидировать потенциальную угрозу экологических и техногенных аварий в регионе. Всего за период с 2002 по 2014 год с Приморского края полностью вывезен 41 эшелон с ОЯТ суммарной активностью 84 млн. Ки с целью переработки на ФГУП «ПО «Маяк».

Обращение с РАО. Жидкие радиоактивные отходы, содержащие морскую воду (ЖРО с МВ), возникают в процессе эксплуатации, ремонта и утилизации судов с ЯЭУ в чрезвычайных ситуациях, а также при авариях на АЭС, расположенных в прибрежной зоне. Сложность переработки ЖРО, содержащих МВ, главным образом определяется тремя факторами: высоким солесодержанием вплоть до 30 г/л; сложным радионуклидным составом, содержащем трудноизвлекаемые радионуклиды и высокой активностью требующие меры по обеспечению защиты персонала на производстве.

Особенности химического состава ЖРО с МВ связана с ограничением выбора отработанных на практике методов обращения с ними: дистилляция, обратный осмос и ионный обмен за счет высокого солесодержания. В настоящее время накоплен значительный опыт по обращению с ЖРО с МВ на Дальнем Востоке РФ [3].

В действующие технологии выделения ^{137}Cs из ЖРО с МВ содержат как ионообменные, так и мембранные методы. На первой стадии, в связи с низкими коэффициентами очистки, требуется использование селективных сорбентов. Как правило, применяются ферроцианидные сорбенты, обладающие наибольшей селективностью к радионуклидам цезия на фоне больших концентраций ионов натрия и калия [4-6]. Различного рода цеолиты и цеолитоподобные сорбенты, к сожалению, показывают значительно меньшие коэффициенты разделения в МВ, и не могут обеспечить глубокую очистку от радионуклидов цезия [7]. Применение таких материалов для одностадийной очистки ЖРО с МВ от радионуклидов цезия возможно лишь при невысокой активности отходов. В последнее время все большее значение стали приобретать селективные фенол- и резорцинформальдегидные смолы (РФС) [8-10], имеющие высокую селективность к радионуклидам цезия в области больших значений рН. Существенным преимуществом данных материалов является то, что сорбция радионуклидов цезия на них обратима и десорбцию можно легко осуществить лишь снижением рН регенерирующего раствора. Применение РФС для одностадийной очистки ЖРО с МВ от радионуклидов цезия возможно при невысокой радиоактивности.

Удаление ^{90}Sr из растворов с высоким содержанием солей жесткости до сих пор не может считаться до конца решенной проблемой. Действительно, факторы

селективности Sr/Ca для подавляющего большинства селективных сорбентов составляют величины лишь от 1 до 10. Такая низкая селективность не обеспечивает высокой очистки от ^{90}Sr в растворах с высоким содержанием солей жесткости. Кроме того, в МВ существует ряд равновесий между сульфат- и бикарбонат ионами и ионами щелочноземельных металлов, включая радионуклиды стронция, осложняющих ионообменное равновесие ионит-раствор [4].

Наиболее перспективными сорбентами для выделения ^{90}Sr из МВ считались кристаллические силикотитанаты, получаемые методом гидротермального синтеза [11]. Однако они обладают большой емкостью по отношению не только к катионам Sr^{2+} , но и Ca^{2+} . В процессе поиска более перспективных сорбционных материалов авторы указали на использование сорбционно-реагентных систем на основе аморфного силиката бария BaSiO_3 , который получается в результате золь-гель перехода, индуцированного введением ионов Ba^{2+} в раствор Na_2SiO_3 [12-14].

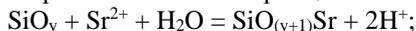
Само понятие сорбционно-реагентных систем (СРС) связано с протеканием химических реакций в ионообменных системах. Такие системы достаточно хорошо изучены (см. напр., обзор [15]). В общем случае, сорбционно-реагентными системами являются те, в которых извлечение радионуклида осуществляется одновременно за счет ионного обмена, необменной сорбции и соосаждения вещества на осадке, образующемся на поверхности и (или) в пористой среде, и (или) в объеме раствора.

Примерами таких систем, пригодных для сорбции ^{90}Sr [16], ^{60}Co или ^{57}Mn [17, 18] из МВ являются BaMnO_4 в сульфатном растворе или активированный уголь в перманганатном растворе, в которых протекают процессы осаждения, соответственно, BaSO_4 или MnO_2 . Наиболее изученной сорбционно-реагентной системой является аморфный силикат бария BaSiO_3 , имеющий практическое применение для очистки МВ от радионуклидов стронция [19]. Реагент получается в результате золь-гель перехода, индуцированного введением ионов Ba^{2+} в раствор Na_2SiO_3 . Образующиеся высокопористые матрицы содержат большое количество обменных ионов бария, способных образовывать с сульфат-анионами нерастворимые осадки BaSO_4 , содержащимися в очищаемых растворах (МВ). Изменение условий золь-гель перехода и введение в золь модифицирующих добавок позволяет варьировать свойства получаемых матриц. Совокупность реакций, протекающих между раствором, содержащим сульфат ионы и аморфным силикатом бария, включает:

- ионный обмен стронция и бария, вводимого при синтезе в селективную матрицу:



- образование нерастворимого силиката стронция на поверхности сорбента:



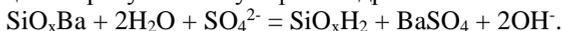
- образование слаборастворимого осадка сульфата бария с сульфат ионом, присутствующим в растворе или специально вводимым в раствор, с обменом на стронций:



- соосаждение стронция и металла с образованием смешанного осадка:



- и протекающий в присутствии сульфата гидролиз силиката металла:



Реакция силиката бария с сульфат-ионами раствора приводит к значительному изменению селективности извлечения стронция из растворов, содержащих ионы кальция, за счет протекания реакций (1) и (2). Более подробно процесс образования осадков в пористой среде силиката описан в [13].

К недостаткам $BaSiO_3$ относится низкая гидромеханическая прочность при использовании его в качестве набивки фильтрующих устройств. Решением проблемы низкой гидромеханической прочности является получение композиционного материала, в котором активный компонент ($BaSiO_3$) переводится в гранулированную форму с использованием соответствующих связующих материалов [14].

Напротив, эффективная очистка от данных радионуклидов возможна также методами соосаждения, например с гидратированной MnO_2 . В ДВФУ был получен сорбционный материал на основе оксида марганца, обладающего высокой избирательностью по отношению к ионам Sr^{2+} в морской воде и растворах-имитаторах. Среднее значение коэффициента распределения (K_p) ^{90}Sr составляет $2 \times 10^3 - 8 \times 10^3$ cm^3/g . Материал химически и механически устойчив для многократного использования в динамическом режиме сорбции-элюирования-регенерации. Сорбированный Sr^{2+} может быть элюирован раствором 0,5 М HCl с последующей регенерацией сорбента раствором 1,0 М $NaOH$. Показано, что в трех последовательных циклах сорбции – десорбции в указанных выше условиях величины полной динамической обменной емкости сорбента снижается от 0,21 до 0,16 мг-экв/г. Ресурс сорбента радионуклида (5% проскока) превышает 150 колоночных объемов пропущенных растворов и не снижается в трех циклах сорбции – десорбции [20]. Полученный сорбционный материал может быть рекомендован для очистки ЖРО от ^{90}Sr сложного солевого состава в том числе, содержащих морскую воду.

Опыт переработки ЖРО, содержащих МВ, на предприятиях Дальнего Востока РФ. На ряде объектов, связанных с переработкой ЖРО, образующихся при эксплуатации, ремонте и утилизации НК и АПЛ с ЯЭУ Дальнего Востока, проводились испытания различных технологий переработки ЖРО, содержащих МВ.

Первой можно считать технология, реализованной на станции переработки ЖРО на техническом танкере «Пинега» в 1995 г. (разработка ВНИИПИЭТ, С.-Петербург). Данная схема была опробована на ЖРО, содержащих до 10 % МВ, но в связи с трудностями эксплуатации установка в дальнейшем была законсервирована.

Особенностью работы технологической схемы установки «Ландыш» (разработка V&W NE, USA, 1999 г.) явился полный цикл обращения с ЖРО, включающий их кондиционирование (цементирование) и упаковку вторичных радиоактивных отходов, образующихся в результате переработки. Опытные испытания, выполненные на ЖРО, содержащих 50 % МВ, показали общее сокращение объемов РАО при переработке ЖРО до ТРО в 14 раз. Однако заложенные при проектировании ограничения по емкости фильтров предварительной очистки, а также ограничения по биологической защите оборудования, не позволяют перерабатывать ЖРО с активностью $>10^5$ Бк/л. Кроме того, высокое содержание Cl^- -ионов в МВ требует специальной тары для хранения отвержденных концентратов выпарной установки. К настоящему времени на упомянутой установке удалось переработать >3000 m^3 ЖРО с МВ.

С использованием установки «Шарья» (разработка АО «Экоатом», г. Сосновый Бор) на различных типах ЖРО с МВ с 1993 по 2000 г. было переработано >5000 m^3 ЖРО низкой соленостью. Различие технологической схемы от упомянутой отличается отсутствием стадии выпарки рассолов, приведшей к накоплению в ходе эксплуатации >1000 m^3 ЖРО – обратноосмотического концентрата соленостью от 30 г/л и активностью $>10^6$ Бк/л.

Для их переработки, а также утилизации ЖРО с МВ, была создана установка «Барьер», в которой применены новые сорбционно-реагентные материалы и селективные сорбенты (разработка ИХ ДВО РАН). На стадии предварительного снижения гамма-активности используются природные цеолиты, полная очистка от ^{137}Cs происходит на ферроцианидных фильтрах, очистка от ^{60}Co и трансурановых

элементов (ТУЭ) - на сорбционно-реагентных фильтрах с дозировкой в ЖРО KMnO_4 . Основной фильтрационный узел, связанный с удалением ^{90}Sr , основан на фильтрах заполненных сорбционно-реагентным материалом на основе BaSiO_3 . На установке «Барьер» с 2000 г. по настоящее время переработано $>5000 \text{ м}^3$ накопленные ЖРО с МВ различного состава, а также концентраты (рис. 1).

В 2016 г. на основании имеющейся литературы и опыта работ в области обращения с ЖРО сложного состава силами Института химии ДВО РАН и ДВФУ на АО «ДВЗ «Звезда» создана пилотная установка сорбционно-реагентной переработки ЖРО с МВ и нефтепродуктов на уровне, превосходящем известные передовые технологии переработки данного типа отходов. При этом используются ферроцианидные сорбенты и сорбционно-реагентные материалы, производимые ДВЦ «ДальРАО» по технологии, разработанной в Институте химии ДВО РАН.



Рис. 1. Опытная установка «Барьер» [18, 19]

Решение поставленной задачи было достигнуто использованием наноструктурированных адсорбентов длительного использования, способных восстанавливать свою сорбционную активность посредством несложной регенерации. Кроме того, при повторном использовании очищенных вод и продуктов переработки ЖРО существенно сокращаются затраты на водопотребление и водоотведение. Вместе с тем соли тяжелых металлов имеют значительную ценность, и их извлечение и повторное использование из отработанных электролитов в производстве может дать значительный экономический эффект. В процессе ремонта и утилизации образующиеся ЖРО накапливаются в монжюсах соответствующих цехов ДВЗ «Звезда» и в плавучих емкостях ПЕК-50 и (или) планируемой к постройке емкости ПЕК-200. Пилотная установка имеет хорошую референтность при обращении с такого типа ЖРО на объектах ДВЦ «РосРАО» и состоит из двух модулей: модуль очистки ЖРО (МО) и модуль цементирования (МЦ), а так же комплект транспортно-технологического оборудования. МО предназначен для выполнения очистки ЖРО от разнообразных загрязнений: механических; нефтепродуктов; коллоидных частиц с последующей очисткой от радионуклидов на сорбционных фильтрах и от химических загрязнений на установках обратного осмоса. МЦ предназначен для заключения в цементную матрицу отходов в виде рассола, получаемого на установках обратного осмоса.

Радиационный мониторинг и аварийное реагирование. Активно развивается радиационный мониторинг на территории Приморского края. В 2017 г. он осуществлялся уже на 33 пунктах Государственной наблюдательной сети (ГНС) Приморского УГМС. При этом на 20 станциях МЭД измерялась с помощью автоматических датчиков, входящих в состав автоматических метеорологических

комплексов (АМК), а на 13 станциях измерения проводились с помощью дозиметров различной модификации.

На основании оценки источников поступления радиоактивных загрязнений в Приморский край путем атмосферного выпадения радионуклидов космического, искусственного и естественного происхождения; ввоза загрязненных товаров и транспортных средств и несанкционированного хранения радиоактивных предметов показано, что среднегодовые значения МЭД γ -излучения на период 2014-2017 гг. на станциях края варьировали в пределах 10-23 мкР/час, а на территории г. Владивостока 12-15 мкР/час, находясь в пределах естественного радиационного фона без превышения допустимой нормы для населения, установленными СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». Годовая эффективная доза облучения населения от всех источников ионизирующего излучения в расчете на 1 жителя составила 2,86 мЗв/год, что соответствует приемлемому уровню природного облучения (допустимая величина 5,0 мЗв/год).

Отмечается, что на территории Приморского края еще имеются отдельные локальные участки, оказывающие влияние на радиационную обстановку: зоны аварии АПЛ в б. Чажма (1985 г.), места базирования атомных судов ТОФ и предприятия на побережье залива Петра Великого. В рамках реабилитации упомянутых загрязненных территорий ведется работа по улучшению радиационной обстановки.

С 2011 году в атмосфере появились техногенные радионуклиды, поступившие с воздушными массами после аварии на АЭС «Фукусима-1». Однако случаев высокого радиоактивного загрязнения в течение года не зафиксировано.

В структуре коллективных доз облучения населения, по-прежнему, наибольший вклад в дозу облучения населения края вносят природные и медицинские источники ионизирующего излучения (100%). В структуре коллективной дозы, создаваемой за счет медицинского облучения, ведущее место занимают рентгенографические (38,7%) компьютерная томография (26,2%) исследования.

Отчет о реализации государственной программы Приморского края «Охрана окружающей среды Приморского края» размещен на странице департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Приморского края официального сайта Администрации Приморского края (www.primorsky.ru).

Морские экспедиции 2018 года. На основании имеющихся литературных данных можно сделать следующий вывод, что акватории Дальнего востока, в том числе акватория залива Петра Великого с точки зрения радиоэкологии представляет собой сложный объект. Это связано с захоронением радиоактивных отходов непосредственно на морском дне, аварией в бухте Чажма и на АЭС Фукусима-1, а также большим числом рек обеспечивающих вынос радионуклидов, попавших на материковую часть с глобальными выпадениями. Высокое содержание радионуклидов в морской воде, опасно тем, что, выстраиваясь в трофические цепи они могут поступать в организм человека пероральным путем, оказывая повышенные дозовые нагрузки на население, проживающее в прибрежной зоне. Имеется ограниченное число работ, касающихся проблеме радиационного загрязнения залива Петра Великого, большая часть которых уже не актуальна. Современные работы, посвященные радиоэкологии Дальневосточного региона направлены на исследование морских территорий вблизи Японии, либо посвящены проблемам массопереноса и перемешивания океанической воды. Поэтому на текущий момент отсутствуют актуальные обобщенные и систематизированные данные по источникам и уровню радиационного загрязнения вод Дальнего востока, а также методы для проведения экспрессного радиоэкологического мониторинга, что создает определенные риски.

В результате двух морских экспедиций по водам Японского, Охотского и Берингова морей были отобраны 23 пробы морской воды с целью определения содержания в них радиоцезия. В каждой точке была отобрана проба морской воды объемом 100 л с последующим ее пропусканием через специальный фильтрующий элемент (картридж), имеющий рабочий объем 70 мл, со скоростью 7 литров в час. Картридж представляет собой полипропиленовый корпус, заполненный композитным волокнистым сорбентом на основе смешанного ферроцианида Zn-K. После пропускания 100 литров морской воды картриджи, представляющие собой радионуклидные концентраты Cs-137, консервировали путем заморозки при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до доставки в лабораторию. В ряде проб было установлено превышение удельной активности Cs-137 в морской воде по сравнению со средними значениями ($5\text{--}20\text{ Бк/м}^3$) до аварии на АЭС Фукусима-1. Повышенные значения в пробах, отобранных в Охотском море вероятно являются последствием утечек в открытый океан и последующим массопереносом высокоактивных и средне активных жидких отходов, образовавшихся в результате аварии на АЭС Фукусима-1. При сравнении полученных результатов с данными, полученными в 2011-2012 годах японскими коллегами, можно заключить об уменьшении содержания радиоцезия в водах тихоого океана, в частности в морских водах, омывающих территорию Дальнего востока в пределах от 2000Бк/м^3 до $30\text{--}200\text{ Бк/м}^3$. На основании полученных результатов была составлена карта содержания антропогенных радионуклидов Cs-137 в точках отбора воды Дальневосточного региона (рис. 2).

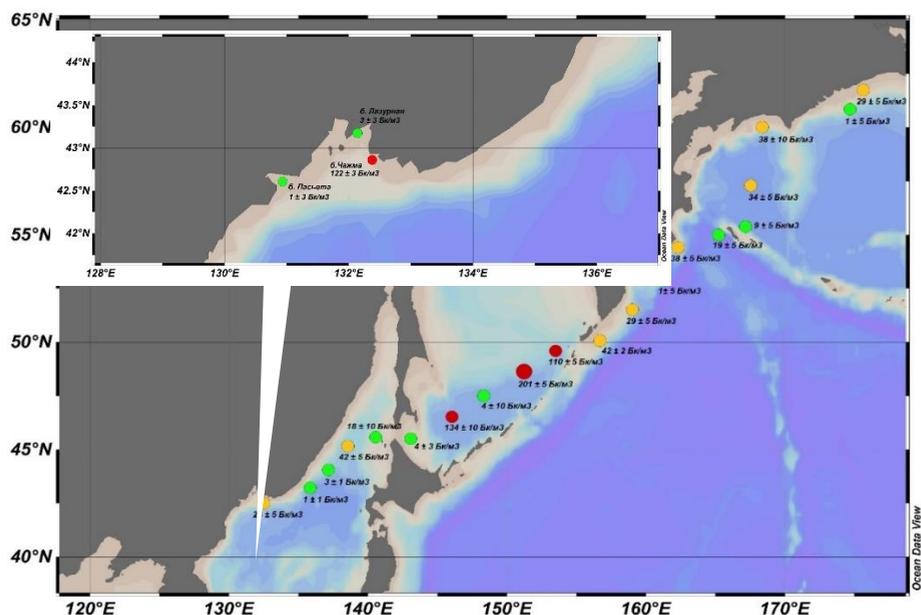


Рис. 2. Карта содержания антропогенных радионуклидов Cs-137 в точках отбора воды Дальневосточного региона

Заключение

Опыт очистки морской воды от опасных радионуклидов, а также промышленной переработки ЖРО, содержащих морскую воду, позволяет считать, что наиболее успешным для такой переработки является технология селективной сорбции. Используемая в настоящее время сорбционная технология переработки

высокосолёных вод сложного химического состава, включая морскую воду, позволяет очищать среднеактивные ЖРО с активностью до 10^7 Бк/л до норм, позволяющих сбрасывать очищенные воды в акваторию (менее 10^2 Бк/л по радионуклидам ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , менее 0,1 Бк/л по основным трансураниевым элементам). При этом используются ферроцианидные сорбенты и сорбционно-реагентные материалы, производимые ДВЦ «ДальРАО» по технологии, разработанной в Институте химии ДВО РАН. Опыт очистки морской воды от опасных радионуклидов, а также промышленной переработки ЖРО, содержащих морскую воду, позволяет считать, что наиболее успешным для такой переработки является технология селективной сорбции. Используемая в настоящее время сорбционная технология переработки высокосолёных вод сложного химического состава, включая морскую воду, позволяет очищать среднеактивные ЖРО с активностью до 10^7 Бк/л до норм, позволяющих сбрасывать очищенные воды в акваторию (менее 10^2 Бк/л по радионуклидам ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{60}Co , менее 0,1 Бк/л по основным трансураниевым элементам). При этом используются ферроцианидные сорбенты и сорбционно-реагентные материалы, производимые ДВЦ «ДальРАО» по технологии, разработанной в Институте химии ДВО РАН.

Литература

1. Ахунов А.Д. Двадцать лет упорного труда // «Вопросы утилизации АПЛ», Бюллетень ЗАО «Атомэнергоиздат». 2009. № 1. С. 18-26.
2. Электронный ресурс: <http://nuclear-submarine-decommissioning.ru>
3. Horne R.A. Marine Chemistry. The Structure of Water and the Chemistry of the Hydrosphere. - N.Y.: Wiley Intersci., 1969. 398 p.
4. Harjula R., Lehto Y., Tusa E., Paavola A. Industrial scale removal of cesium with hexacyanoferrate exchanger – process development // Nucl. Technol. 1994. V. 107. № 3. p. 272-278.
5. Егорин А.М., Токарь Э.А., Авраменко В.А., Тананаев И.Г., Земскова Л.А. Органоминеральный сорбент на основе смешанного ферроцианида цинка-калия для извлечения и концентрирования радионуклида Cs-137 из морской воды / VII Российская молодежная школа по радиохимии и ядерным технологиям: Тез. докл. Озерск, 12-16 сентября 2016 г. - Озерск: РИЦ ВРБ ФГУП «ПО «Маяк». 2016. С. 118-119.
6. Dalrymple W. The ultimate water treatment system // Nuclear Engineering International. – 2012, July issue, p. 18-20.
7. Nenoff T.M., Krumhansl J.L. Cs⁺ removal from seawater by commercially available molecular sieves // Solvent Extraction & Ion Exchange. 2012. Vol. 30, № 1, p. 33-40.
8. Hassan N.M., Adu-Wusu K., Marra J.C. Resorcinol-formaldehyde adsorption of cesium from Hanford waste solutions // Radioanal. and Nucl. Chem. 2005. Vol. 262, № 3, p. 579-586.
9. Егорин А.М., Паламарчук М.С., Токарь Э.А., Тутов М.В., Азарова Ю.А., Тананаев И.Г., Авраменко В.А. Извлечение ^{137}Cs из морской воды с использованием резорциноформальдегидной смолы // Радиохимия. 2017. Т. 59. № 2. С. 142-146.
10. Avramenko V.A., Tananaev I.G., Sergienko V.I. Treatment of liquid radioactive waste containing seawater / In.: Abstracts of the International Conference «Unique marine ecosystems: modern technologies of exploration and conservation for future generations» Russia, Vladivostok, 4-7 august 2016, p. 22.
11. Solbra N., Allison S., Waite S., Mihalovsky A., Bortun L., Clearfield A. Cesium and Strontium Ion Exchange on the Framework Titanium Silicate $\text{M}_2\text{Ti}_2\text{O}_3\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (M = H, Na) // Environ. Sci. Technol. 2001. V. 35, p. 626-629.
12. Сокольницкая Т.А., Авраменко В.А., Бурков И.С., Голиков А.П., Железнов В.В., Каплун Е.В., Паламарчук М.С., Сергиенко В.И., Южкам А.А. Образование осадка при поглощении стронция сорбционно-реагентными материалами // Журн. физ. химии, 2004. Т. 78, № 3. С. 497-502.
13. Авраменко В.А., Бурков И.С., Глуценко В.Ю., Голиков А.П., Железнов В.В., Каплун Е.В., Паламарчук М.С., Сергиенко В.И., Сокольницкая Т.А., Южкам А.А. Сорбционно-реагентные материалы для переработки жидких радиоактивных отходов // Вестник ДВО РАН. 2002. № 3. С. 7-21.

14. Егорин А.М., Сокольницкая Т.А., Тутов М.В., Токарь Э.А., Матвейкин М.Ю., Авраменко В.А. Композитные селективные сорбенты для очистки морской воды от радионуклидов цезия и стронция // Доклады РАН, 2015. Т. 460. № 2. С. 177-181.

15. Janauer G.E., Gibbons R.E., Bernier W.E. A systematic approach to reactive ion exchange / In: «Ion exchange and Solvent Extr. vol.9». - N.Y.: Basel, 1985, p. 53-173.

16. Рыженьков А.П., Егоров Ю.В. Сорбция стронция-90 из пресных вод в процессе сульфатного модифицирования манганита бария // Радиохимия. 1995. Т.37, № 6. С. 549-553.

17. Marton G., Szanya T., Hanak L., Simon G., Hideg J., Makai J., Schunk J. Purification of nuclear power plant decontamination solutions by preparative scale reactive adsorption // Chemical Engineering Science, 1996. V. 51, № 11, p. 2655-2660.

18. Авраменко В.А., Тананаев И.Г., Сергиенко В.И. Современные технологии обращения с жидкими радиоактивными отходами // Сб. статей по материалам научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2017». 11-15 сентября 2017 г. / Под ред. Омельчук Ю.А., Ляминой Н.В., Кучерик Г.В. – Симферополь: СевГУ. 2017. С. 32-34.

19. Авраменко В.А., Егорин А.М., Папынов Е.К., Соколицкая Т.А., Тананаев И.Г., Сергиенко В.И. Технологии переработки жидких радиоактивных отходов, содержащих морскую воду // Радиохимия – 2017. Т. 59. № 4. С. 355-360.

20. Егорин А.М., Мисько Д.С., Шелестюк Е.А., Калашикова А.М., Баланов М.И., Токарь Э.А., Тананаев И.Г., Авраменко В.А. Извлечение Sr-90 из жидких сред сложного солевого состава // В сб. трудов: VII Международный симпозиум «Химия и химическое образование» - Владивосток: ДВФУ. 2017. С. 167-168.

А.Ю. Озеров¹

Моделирование процессов вулканических извержений

1. Введение

Вулканизм – один из главных геологических процессов, определяющих облик нашей Земли. В настоящее время в наиболее активных вулканических регионах России – Камчатском и Курильском – ежегодно происходит от 5 до 9 извержений вулканов, представляющих значительную опасность для населения, маршрутов авиатранспорта и производственной деятельности. В рамках Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, противодействие источникам опасности для общества и экономики относится к приоритетам научно-технического развития. В этой связи на первый план выходят исследования, направленные на получение новых знаний о процессах подготовки и механизмах реализации сильных и катастрофических извержений. Работы в этом направлении позволят подойти к созданию теоретических и практических основ научного прогноза извержений и дадут возможность значительно уменьшить вулканические риски.

Ключом к проблеме, связанной с вулканическим процессом, является механизм извержений. В настоящее время механизмы подготовки и реализации извержений являются самой малоизученной частью магматического процесса, как в России, так и за рубежом. Это обусловлено тем, что ни в физике, ни в физической вулканологии не описаны аналоги подобных процессов. Поэтому реальные модели извержений до сих пор не разработаны. Такое состояние научных исследований не позволяет адекватно интерпретировать, прогнозировать и реагировать на мощнейшие и опаснейшие вулканические процессы.

¹ Директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, доктор геолого-минералогических наук

Целью настоящей работы является выявление динамических особенностей базальтового-андезибазальтового вулканизма: периодичностей в процессе эруптивного процесса и механизмов разных типов извержений.

В качестве главного объекта исследования выбран Ключевской вулкан. Для него характерно все разнообразие извержений, которое может продуцироваться жидкими базальтовым-андезибазальтовыми магмами. В основе моделирования процессов извержений должны быть четкие параметры природного процесса, с которыми следует проводиться сопоставление результатов экспериментальных исследований. Анализ материалов, полученных автором при изучении динамики нескольких десятков извержений, показал, что наиболее ярким эффектом вулканического процесса, имеющим уникальные динамические особенности, являются периодические флуктуации в ходе извержений.

2. Периодичности в динамике извержений Ключевского вулкана

Систематические исследования Ключевского вулкана начались с 1932 г. С этого времени в работах вулканологов, геологов и географов можно найти указания на конкретные периоды в эруптивной деятельности вулкана, которые проявлялись в ритмичном характере выбросов пепла, бомб, фонтанировании лавы и парогазовых выделений. Автором проведен анализ подобных сведений с 1932 г. по 1978 г. и приведены данные, полученные при изучении извержений 1983-1984 гг.

2.1. Выделение периодичностей по литературным данным

Полный обзор материалов о периодичностях в динамике извержений за 52 года представлен на гистограмме (рис. 1).

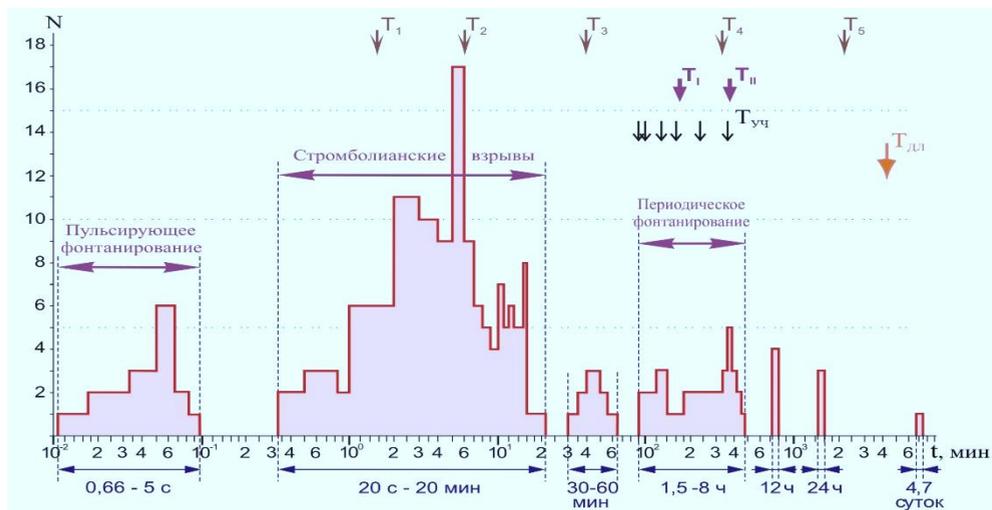


Рис. 1. Распределение наблюдаемых периодов в эруптивной деятельности Ключевского вулкана с 1932 г. по 1984 г.

По оси ординат – количество описанных периодических проявлений по литературным данным, N . По оси абсцисс – в логарифмическом масштабе период, t , мин. Под графиком, стрелками синего цвета, указана продолжительность выделенных периодических интервалов. Вертикальными стрелками показаны основные периоды, выделенные по сейсмическим данным во время извержений 1978 г. – желто-коричневая стрелка – ТДЛ; 1983, 1984 гг. – тонкие коричневые стрелки – T_1 , T_2 , T_3 , T_4 и T_5 ; 1993 г. – толстые фиолетовые стрелки – T_I и T_{II} и 2008 г. – черные стрелки – ТУЧ.

Анализ гистограммы и материалов режимных наблюдений позволил классифицировать периодические явления и выделить 5 групп периодичностей, из них 4 группы относятся к вулканическим (3 основных и 1 промежуточная) и 1 группу следует рассматривать как наведенную, вызванную внешним лунно-солнечным воздействием. Основные группы: пульсирующее фонтанирование (0,67-5 с) – усиленные ритмичные пульсации в струе фонтанирующих раскаленных бомб; стромболианские взрывы (1-20 мин) – одиночные выбросы/взрывы вулканического пепла и/или раскаленных бомб; периодическое фонтанирование (1,5-8 ч) – чередование этапов фонтанирования раскаленных бомб с этапами значительного ослабления эксплозивной деятельности или даже полного покоя, интервалы ослабления обычно имеют большую продолжительность.

2.2. Выделение периодичностей с использованием вулканического дрожания (рис. 2)

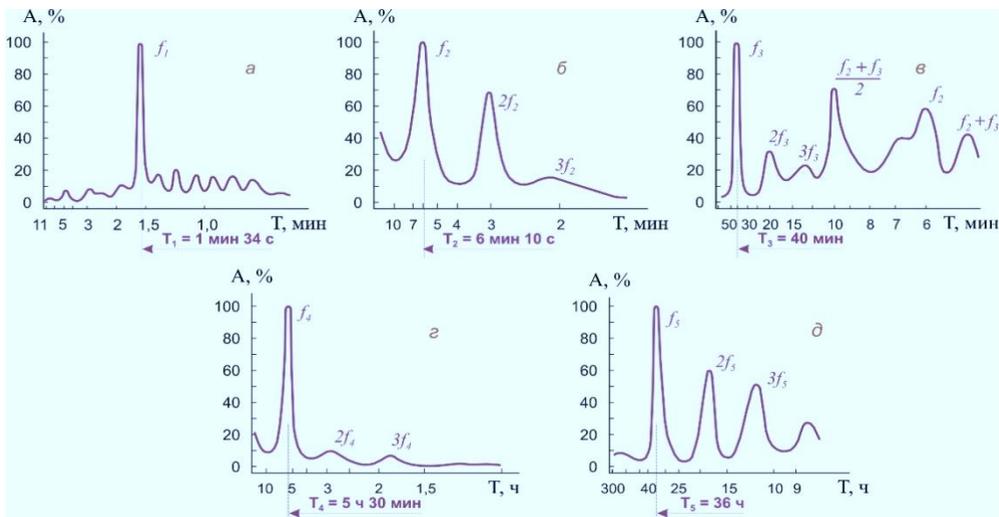


Рис. 2. Спектры огибающей амплитуды вулканического дрожания для интервалов времени 1984 г.: а – 03 – 04 ч 23 июня, б – 01–02 ч 23 августа, в – 15–19 ч 25 июня, г – 00 ч 14 августа – 01 ч 16 августа и д – 19 июня – 2 июля.

По оси ординат – относительная спектральная плотность, A , %.

По оси абсцисс – длина периода: на рис. а и б – T , мин; на рис. в, г, д – T , ч.

Специально для выделения периодичностей в динамике извержений Ключевского вулкана был разработан новый метод изучения низкочастотного вулканического дрожания – метод эквидистантного поинтервального отсчета [2], позволяющий проводить выделение периодов в широком диапазоне их значений – от минимального – 40 с до максимального – 50 ч.

По результатам обработки исходных рядов дрожания извержений 1983–1984 гг. в диапазоне частот от $5,6 \cdot 10^{-6}$ Гц (T_{\max} – 50 ч) до $2,5 \cdot 10^{-2}$ Гц (T_{\min} – 40 с) выделено 47 пиков (частот). Этот набор сохраняется на протяжении всего изученного времени 1983–1984 гг. – 1 год и 7 месяцев. Изменение во времени картины спектров и резкое возбуждение тех или иных частот позволило выделить 5 основных частот (в скобках приведены соответствующие им периоды): $1,1 \cdot 10^{-2}$ Гц ($T_1 = 1$ мин 34 с), $2,5 \cdot 10^{-3}$ Гц ($T_2 = 6$ мин 10 с), $4,2 \cdot 10^{-4}$ Гц ($T_3 = 40$ мин), $5,1 \cdot 10^{-5}$ Гц ($T_4 = 5$ ч 30 мин), $7,7 \cdot 10^{-6}$ Гц ($T_5 = 36$ ч) (рис. 2).

Сопоставление периодичностей вулканического дрожания 1983–1984 гг. с периодичностями 1932–1984 гг. (рис. 1) показывает их хорошее согласование.

2.3. Три основные группы периодичностей в извержениях Ключевского вулкана

В предыдущем разделе показано, что важной составляющей динамики извержений являются периодические процессы. Анализ вулканологических и сейсмологических данных позволил выделить три основные группы: пульсирующее фонтанирование, стромболианские взрывы и периодическое фонтанирование.

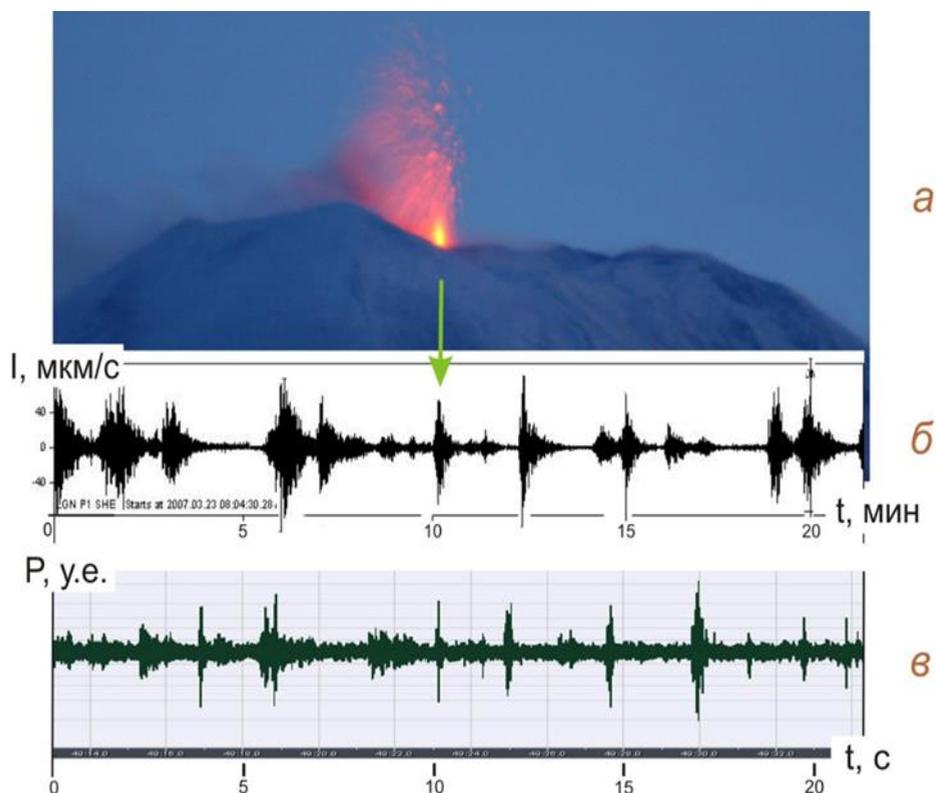


Рис. 3. Сопоставление эксплозивной активности в кратере Ключевского вулкана с характером проявления снарядного режима в экспериментах на КАМБИ, по [Ozerov, 2009].

- а* – взрыв в кратере 23 марта 2007 г. Высота выброса бомб 230 м, объем ~ 30 т;
- б* – фрагмент сейсмической записи взрывной активности 23 марта 2007 г. По оси ординат – интенсивность вулканического дрожания, I , мкм/с; по оси абсцисс – время, t , мин. Регистрация проводилась на расстоянии 3,85 км от кратера. Зеленой стрелкой указано сейсмическое событие, сопровождающее взрыв;
- в* – фрагмент акустической записи всплесков снарядного режима модельной жидкости на верхнем урезе экспериментальной колонны КАМБИ; по оси абсцисс – время, t , с, по оси ординат – давление звуковой волны, P , у.е.

2.3.1. Пульсирующее фонтанирование – это ритмичный процесс резкого, кратковременного усиления интенсивности фонтанирования раскаленных бомб, наблюдаемый в динамике струи, по которой через короткие секундные интервалы снизу вверх проскакивает более интенсивная порция бомб [6]. Последовательное чередование порций обеспечивает повторяющийся пульсирующий процесс с

периодом, установленным в разные годы, от 0,66 до 5 с (см. рис. 1). Этот тип извержения впервые был выделен и описан автором, который предложил использовать для нового режима термин «пульсирующее фонтанирование» [6]. Механизм пульсирующего фонтанирования в литературе не описан, его обсуждение будет проведено в разделе 4.

2.3.2. *Стромболианские взрывы* – это выбросы раскаленных вулканических бомб в виде веера или вертикального султана на высоту десятки-сотни метров (рис. 3 а). Они могут сопровождаться выносом пепла. Взрывы обычно кратковременны: продолжительность активной фазы взрыва – секунды–десятки секунд. После фазы покоя (десятки секунд–минуты–десятки минут) происходит новый взрыв и т.д. Наблюдается дискретный, квазипериодический, разноамплитудный процесс, в котором отдельные взрывы могут отличаться как по характеру начальной фазы, так и по продолжительности. Для стромболианских взрывов выявлен набор периодичностей, проявляющийся в интервале от 20 с до 20 мин (см. рис. 1). Для Ключевского вулкана наиболее характерна 5-минутная периодичность, хорошо выражены 2-минутная и 15-минутная. Слабые стромболианские взрывы выносят на поверхность до 10 тонн магматических продуктов, средние – 10–100 тонн, а сильные – более 100 тонн.

Физическое моделирование процессов формирования крупных газовых снарядов будет представлено ниже.

2.3.3. *Периодическое фонтанирование* – это последовательное чередование фаз интенсивного фонтанирования раскаленных бомб и фаз значительного ослабления или прекращения деятельности огненных фонтанов (рис. 4 а). Фазы усиления и ослабления последовательно сменяют друг друга, формируя периодический процесс, который в ходе одного извержения может продолжаться от 1 до 10 суток. Продолжительность активной фазы от десятков мин до 1 ч. Фазы ослабления обычно более продолжительные. Набор периодичностей, установленный для исследуемого процесса, проявляется от 1 ч 30 мин до 8 ч (см. рис. 1). Во время активной фазы раскаленные вулканические бомбы выбрасываются на высоту 150–800 м, которая меняется в зависимости от интенсивности извержения. При фонтанировании слабой интенсивности на поверхность земли поступает менее 10 тонн/с магматических продуктов, средней – 10–100 тонн/с и сильной – более 100 тонн/с.

Описаний периодического фонтанирования в научной литературе нет. С 1984 г. нами проводятся вулканологические и геофизические (вулканическое дрожание) исследования, которые впервые на базальтовых-андезибазальтовых вулканах позволили установить явление устойчивого периодического фонтанирования, проявляющегося в широком временном диапазоне – от 1 ч 30 мин до 8 ч [2,7]. Механизм периодического фонтанирования раскаленных бомб в литературе не описан, его обсуждение будет проведено в разделе 4.

В результате проведенных работ выявлено новое свойство базальтового-андезибазальтового вулканизма – устойчивые периодичности в динамике извержений, проявляющиеся в широком временном диапазоне (секунды–сутки). Установлено три основные группы периодичностей: пульсирующее фонтанирование – 0,66-5 с; стромболианские взрывы – 0,33-20 мин и периодическое фонтанирование – 1,5-8 ч. Пульсирующее фонтанирование и периодическое фонтанирование, впервые выделенные на Ключевском вулкане типы базальтовых-андезибазальтовых извержений, в последующем установлены на других вулканах мира (Килауэа, Толбачик, Этна и др.).

Открытые периодичности могут служить эталонами для сравнения с результатами моделирования вулканических процессов.

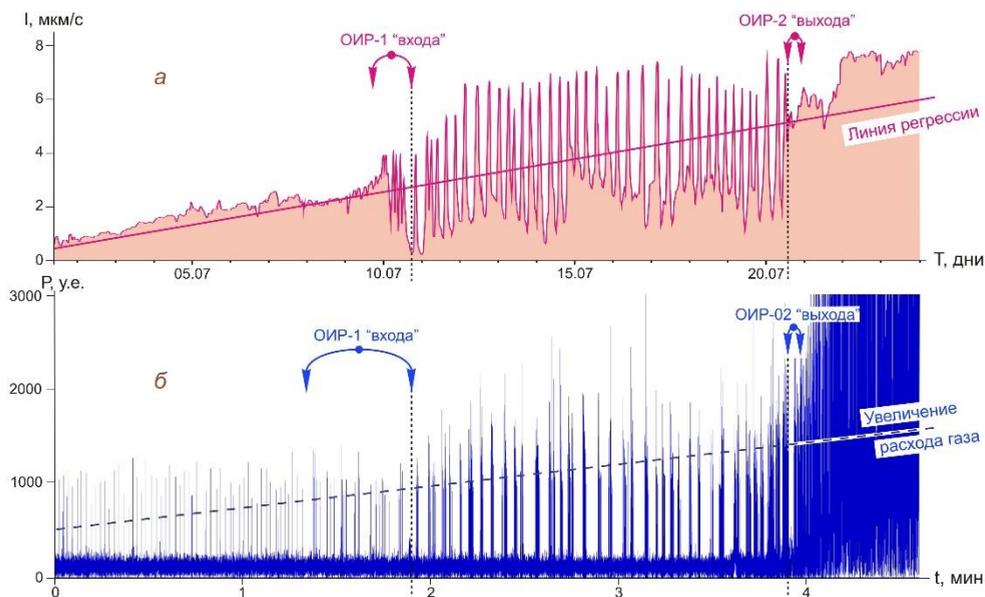


Рис. 4. Сопоставление характера эксплозивной активности Ключевского вулкана (1993 г.) с поверхностными проявлениями газогидродинамических режимов – по результатам экспериментальных исследований на КАМБИ, [5]:
а – график изменения интенсивности вулканического дрожания Ключевского вулкана для интервала времени 1 июня – 24 июля 1993 г. [7]; по оси ординат – интенсивность вулканического дрожания, I , мкм/с; по оси абсцисс – время, T , сутки;
б – график изменения давления звуковой волны, производимой лопающимися пузырьками над поверхностью модельной жидкости – по результатам экспериментальных исследований на КАМБИ; по оси ординат – давление звуковой волны в условных единицах, P , у.е., по оси абсцисс – время, t , мин. Ось ординат по вертикали – искусственно ограничена выше значения 3 000 у.е., по [4]. ОИР – область изменения режима

3. Комплекс Аппаратуры для Моделирования Базальтовых Извержений (КАМБИ) и предпосылки его создания

Для физического моделирования периодических процессов, выявленных в динамике извержений Ключевского вулкана, была сконструирована специальная лабораторная установка КАМБИ [7, 3-5].

КАМБИ предназначен для всестороннего моделирования эффектов, возникающих при движении двухфазных модельных жидкостей по протяженным вертикальным колоннам; исследования режимов, возникающих в двухфазных смесях, их динамики и проявления каждого отдельного режима на поверхности; особое внимание уделялось поиску природы периодических режимов извержений, описанных в разделе 2.

Технические характеристики КАМБИ

Работа по созданию экспериментальной установки была начата нами в 2003 году. За последующие пять лет было сконструировано девять экспериментальных газогидродинамических установок. В итоге был создан комплекс аппаратуры для моделирования базальтовых извержений – КАМБИ и проведены серии лабораторных экспериментальных работ.

КАМБИ смонтирован в здании Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, его общая высота – 18,7 м. Установка состоит из двух систем – моделирующей и регистрирующей. Идея, расчеты, изготовление всех узлов и монтаж КАМБИ

осуществлены коллективом сотрудников Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН под руководством автора.

Моделирующая система КАМБИ

КАМБИ сконструирован таким образом, что его моделирующая система может работать в двух вариантах: газонасыщенной колонны – в трубу подается модельная жидкость с растворенным газом (рис. 5) и барботажной колонны – в трубу с неподвижной жидкостью через капилляр извне вводится газ, за счет чего в жидкости формируются пузырьки.

Моделирующая система в варианте газонасыщенной колонны (рис. 5) включает герметичный бак для приготовления газонасыщенной модельной жидкости – *магматический очаг*; три прозрачные колонны ($\text{Ø}_{\text{внутр}} = 18 \text{ мм}, 25 \text{ мм и } 50 \text{ мм}$; высота – 16,6 м) – *питающий канал*; прозрачную емкость для приема поступающей модельной жидкости – *кратерную область/жерло* и модельную жидкость – *жидкое магматическое вещество*. В работе в качестве модельной жидкости используется вода с растворенным в ней газом CO_2 и азот, выполняющий роль поршня, выдавливающего модельную жидкость из бака в экспериментальные колонны.

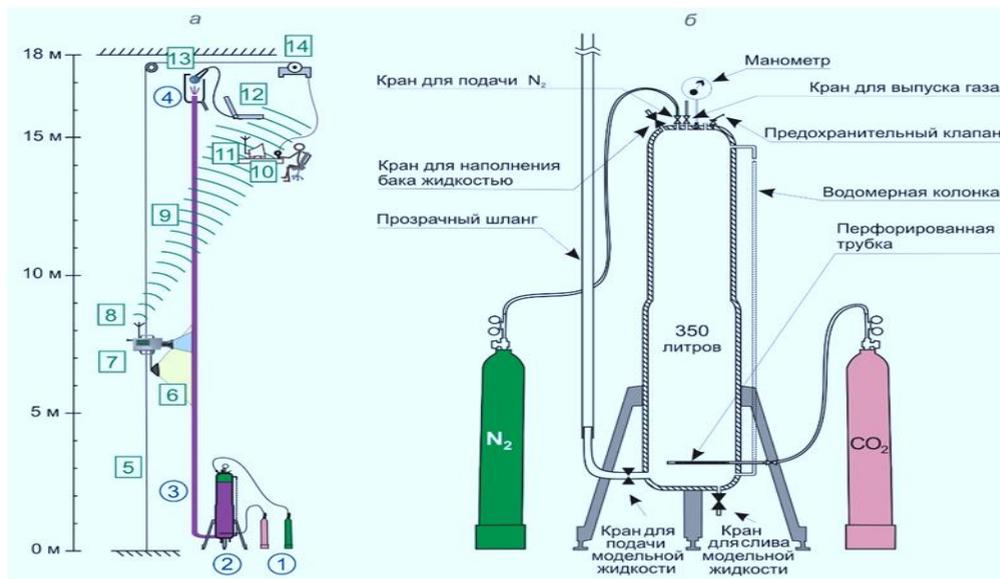


Рис. 5. Комплекс аппаратуры для моделирования базальтовых извержений (КАМБИ) в варианте «газонасыщенная колонна».

а – схема моделирующей (1–4, синие кружки) и регистрирующей (5–14, зеленые квадраты) систем КАМБИ: 1 – газовые баллоны высокого давления с CO_2 и N_2 ; 2 – герметичный бак для приготовления модельной жидкости; 3 – прозрачная колонна; 4 – прозрачная емкость для приема жидкости; 5 – трос, направляющий движение платформы динамического видеослежения; 6 – источник света; 7 – видеокамера; 8 – передатчик и телеметрическая антенна; 9 – радиосигнал; 10 – пульт управления, отвечающий за перемещение видеокамеры; 11 – приемник видеосигнала и монитор; 12 – компьютер; 13 – микрофон; 14 – электродвигатель. В верхней части рисунка – исследователь-оператор, управляющий движением видеокамеры.

б – блок для приготовления газонасыщенной модельной жидкости и подачи ее в прозрачную вертикальную колонну

Моделирующая система в варианте барботажной колонны включает регулятор подачи газа, формирующего двухфазный поток, прозрачную колонну ($\varnothing_{\text{внутр}} = 18$ мм; высота – 15,7 м) – *питающий канал*, емкость для приема поступающей модельной жидкости – *кратерную область/жерло* и модельную жидкость – *жидкое магматическое вещество*. В качестве модельной жидкости применяется 35% раствор глицерина в дистиллированной воде, в качестве барботирующего газа – воздух, поступающий под давлением из газового баллона.

Регистрирующая система КАМБИ

Регистрирующая система контролирует параметры двух моделирующих систем – в газонасыщенной колонне и барботажной колоннах.

Регистрирующая система включает систему динамического видеослежения, электронный высотомер и спидометр, блок видеорегистрации, блок акустической регистрации, синхронизирующее устройство и отключающую систему (рис. 5 а).

Созданная нами установка КАМБИ не имеет аналогов в мире.

4. Механизмы пульсирующего фонтанирования, стромболианских взрывов и периодического фонтанирования (экспериментальное моделирование)

Ниже будут представлены результаты изучения физических процессов, обеспечивающих формирование в подводящем канале вулкана газовых структур, определяющих возникновение в кратере режимов пульсирующего фонтанирования, стромболианских взрывов и периодического фонтанирования. Во всех экспериментах на КАМБИ используются протяженные вертикальные колонны постоянного диаметра. Отсутствуют любые неоднородности, способные влиять на движение двухфазного потока как в колоннах, так и при выходе на поверхность, система открытая.

4.1. Механизм пульсирующего фонтанирования

Параметры экспериментального моделирования:

– *газонасыщенная колонна*, $\varnothing_{\text{внутр}} = 50$ мм, $h_{\text{колонны}} = 16,6$ м, $P_{\text{насыщения}} = 1,6$ атм, H_2O , CO_2 .

4.1.1. При изучении движения газонасыщенной жидкости по вертикальной колонне установлено, что в зависимости от расхода модельной жидкости реализуются два варианта развития двухфазного потока: 1 – равномерный (режимы: жидкостной, пузырьковый и пенный) и 2 – периодический (режимы: жидкостной, пузырьковый и пенных кластеров).

4.1.2. В ходе экспериментов выявлены и описаны новые ранее неизвестные режимы течения двухфазных смесей в вертикальной колонне – пенный и пенных кластеров [6]. Пенный режим представляет собой однородный поток газовых пузырьков, близко расположенных друг к другу и равномерно движущихся вверх по колонне. Объем газовой фазы существенно превосходит объем жидкости (более 75%). Для пенного режима характерен одинаковый размер крупных пузырьков, пространство между которыми заполнено более мелкими пузырьками. Режим пенных кластеров определяется тугими сгустками пузырьков, которые последовательно движутся вверх по колонне в потоке пены на примерно одинаковом расстоянии друг от друга, создавая в потоке периодический/квазипериодический режим. Скорость движения пенных кластеров в 2–3 раза выше, чем средняя скорость пенного потока.

4.1.3. Проведенные исследования (натурные – во время изучения извержений и лабораторных – при изучении движения двухфазных смесей на КАМБИ) позволил предложить новую гипотезу. В зависимости от типа двухфазного потока в подводящем канале вулкана, в жерле будут проявляться различные виды эксплозивной деятельности: монотонное фонтанирование бомб при равномерном пенном режиме и пульсирующее фонтанирование при режиме пенных кластеров.

4.2. Механизм стромболианских взрывов

Параметры экспериментального моделирования:

- газонасыщенная колонна, $\varnothing_{\text{внутр}} = 18 \text{ мм}$, $h_{\text{колонны}} = 16,6 \text{ м}$, $P_{\text{насыщения}} = 1,6 \text{ атм.}$;
- барботажная колонна, $\varnothing_{\text{внутр}} = 18 \text{ мм}$, $h_{\text{колонны}} = 15,7 \text{ м}$, $\varnothing_{\text{пузырьков}} \sim 2,5 \text{ мм}$.

4.2.1. Анализ разнообразия режимов течения одной и той же модельной жидкости показал, что четыре режима – жидкостный, пузырьковый, блокированных кластеров и снарядный являются продуктом эволюции газонасыщенного потока и имеют свои конкретные морфологические особенности (рис. 6).

4.2.2. В ходе экспериментов выявлен и описан новый, ранее неизвестный режим течения двухфазных смесей в вертикальной колонне – блокированных кластеров (см. рис. 6, 13 и 14 м), характеризующийся закономерным чередованием плотных скоплений газовых пузырьков (кластеров), разделенных между собой жидкостью, не содержащей свободной газовой фазы. Механизм образования кластеров обусловлен взаимодействием крупных газовых пузырьков со стенками канала, в результате чего возникают эффекты самозапираания и торможения. Эти процессы приводят к тому, что создается относительно медленно движущаяся динамическая газовая пробка – блокированный кластер.

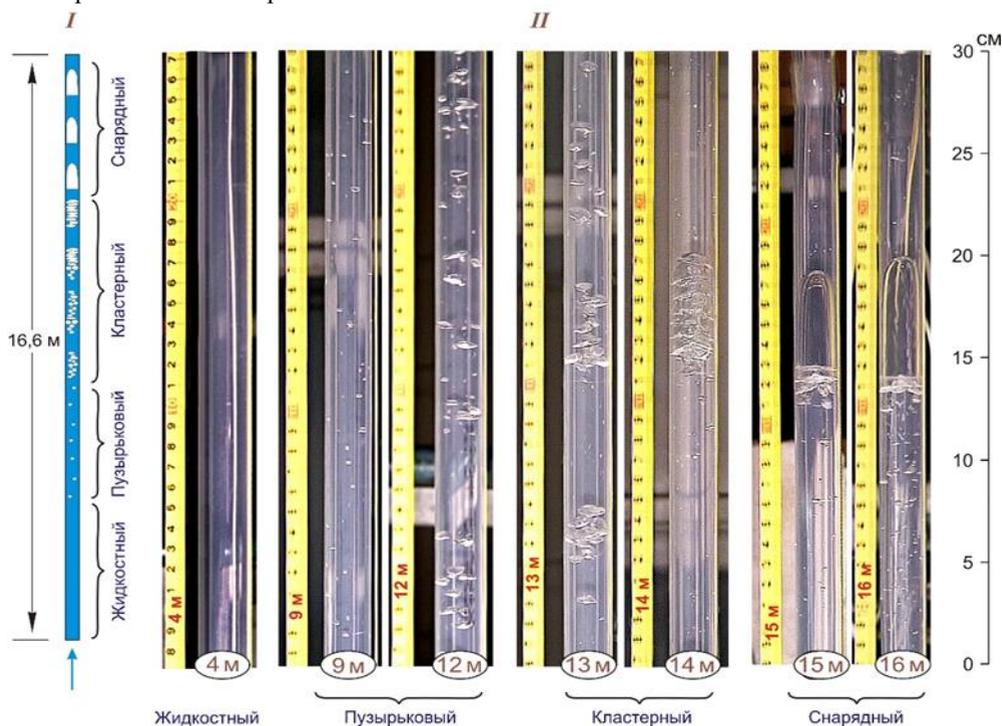


Рис. 6. Фрагменты газогидродинамических режимов, возникающих в процессе подъема газонасыщенной жидкости в прозрачной вертикальной колонне ($\varnothing_{\text{внутр.}} = 18 \text{ мм}$, $h = 16,6 \text{ м}$), по [7].

I – схематическое положение газогидродинамических режимов по колонне, снизу вверх;

II – видеокadres режимов течения газонасыщенной модельной жидкости в вертикальной колонне. Для каждого видеокadres в эллипсах указана высота (м) от нижнего края экспериментальной колонны

4.2.3. Проведено сопоставление акустической записи снарядного режима на верхнем срезе экспериментальной колонны КАМБИ с сейсмической записью взрывной активности вершинного кратера Ключевского вулкана в 2007 г. На рис. 3 б, в видно, что экспериментальный и природный сигналы имеют общие черты. В обоих случаях они отражают дискретные, разноамплитудные, квазипериодические процессы. Это позволяет полагать, что газогидродинамические процессы, смоделированные в экспериментах на КАМБИ и происходящие в реальных магмоподводящих системах, имеют общую природу.

4.2.6. Изучение характера стромболианских взрывов на базальтовых-андезибазальтовых вулканах, с учетом полученных экспериментальных данных, позволило определить механизм подготовки взрывов базальтовых-андезибазальтовых магм как процесс газогидродинамического преобразования магматического расплава, поднимающегося по вертикальному питающему каналу вулкана.

4.3. Механизм периодического фонтанирования

Параметры экспериментального моделирования:

барботажная колонна, $\varnothing_{\text{внутр}} = 18 \text{ мм}$, $h_{\text{колонны}} = 15,7 \text{ м}$, $\varnothing_{\text{пузырьков}} \sim 2,5 \text{ мм}$.

4.3.1. Анализ разнообразия режимов течения двухфазных потоков в вертикальной барботажной колонне показал, что три газогидродинамических режима, последовательно возникающих в экспериментальной колонне при увеличении расхода газа – пузырьковый (низкодебитный), открытых пузырьковых кластеров (среднедебитный) и пузырьковый (высокодебитный), являются продуктами эволюции самого двухфазного потока [4]. Они имеют четкие морфологические особенности, которые определяются, главным образом, расходом газа, поступающего в систему. При определенных расходах газа вертикальный канал работает как сепаратор-дозатор газовой фазы.

4.3.2. При проведении экспериментов выявлен и описан новый, ранее неизвестный режим течения двухфазных смесей в вертикальной колонне – режим открытых кластеров. Он характеризуется закономерным чередованием скоплений газовых пузырьков – кластеров, разделенных между собой жидкостью, не содержащей свободной газовой фазы.

Механизм образования открытых кластеров в вертикальном канале хорошо объясняется свойствами одномерных пузырьков: догонять друг друга, создавать горизонтальные структуры максимального торможения, улавливать поднимающиеся снизу пузырьки и не давать им возможности покинуть границы кластера. Именно режим открытых кластеров является причиной периодического фонтанирования раскаленных бомб при извержениях базальтовых вулканов.

4.3.3. Проведено сравнение результатов изучения вулканического дрожания при извержении Ключевского вулкана 1993 г. (см. рис. 4 а) с данными акустических исследований на КАМБИ (по измерению звуковых волн, производимых лопающимися газовыми пузырьками на поверхности модельной жидкости) (см. рис. 4 б). Сопоставление природного и экспериментального графиков демонстрирует большое их сходство в последовательной реализации трех режимов в паре природный процесс–эксперимент, соответственно:

- 1 – равномерный низкоинтенсивный-равномерный низкодебитный,
- 2 – периодический в обоих процессах,
- 3 – равномерный высокоинтенсивный-равномерный высокодебитный.

При этом установлены две области изменения режимов – как при извержении вулкана, так и в экспериментальных исследованиях: ОИР-1 «входа» в периодический режим и ОИР-2 «выхода» из него.

4.3.4. Предложена новая модель эволюционного газогидродинамического движения магматического расплава в подводящем канале базальтового-андезибазальтового вулкана. В зависимости от типа режима на вулканах могут проявляться различные типы эксплозивной деятельности: равномерная пепловая эмиссия с небольшим количеством вулканических бомб или без них, энергичное периодическое фонтанирование раскаленных бомб и интенсивная продолжительная монотонная «работа» раскаленных фонтанов.

4.4. Новая схема режимов течения двухфазных смесей в вертикальных колоннах

Результаты экспериментов на КАМБИ существенно дополняют газогидродинамические данные, на которых базируется современное моделирование динамики извержений базальтовых вулканов. До наших работ было известно 5 режимов течения двухфазных смесей в вертикальных трубах – пузырьковый, снарядный, смешанный, кольцевой и капельный [1, 9].

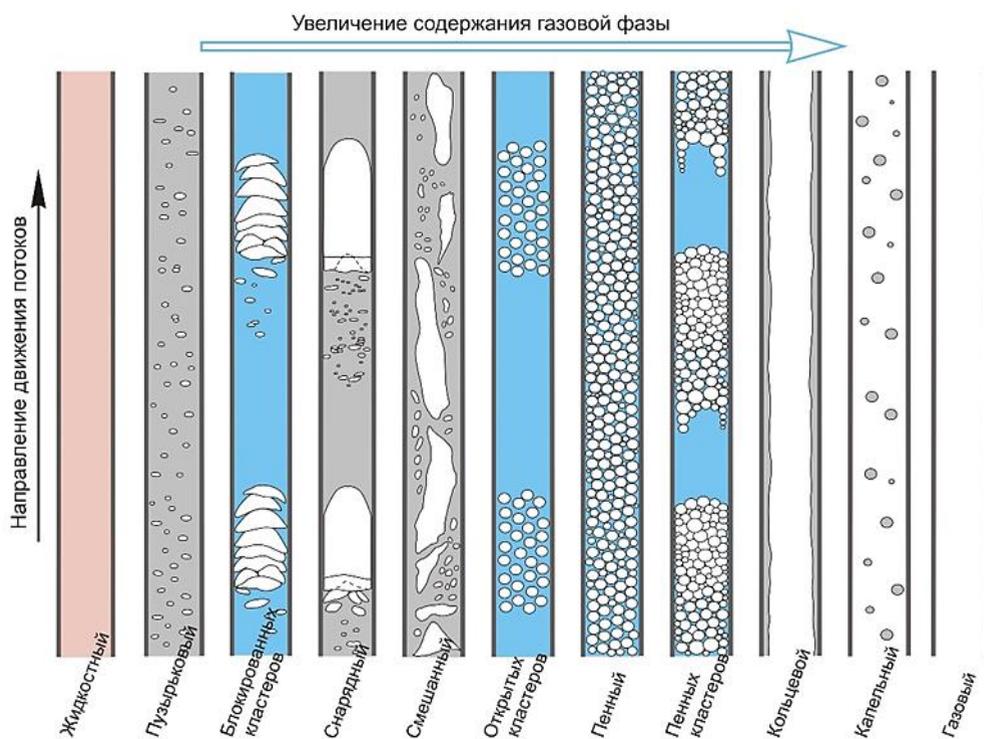


Рис. 7. Новая схема режимов течения двухфазных смесей в вертикальных колоннах. В нижней части схемы – названия режимов, представленных в колоннах.

На схеме рис. 7 они представлены в традиционном черно-белом исполнении. В процессе исследований на КАМБИ было установлено еще 4 режима – пенный, пенных кластеров, блокированных кластеров [8] и открытых кластеров [4]. На схеме они приведены синим цветом. Представленная типизация газогидродинамических режимов позволяет объяснить многообразие типов базальтовых-андезибазальтовых извержений.

5. Заключение

В результате проведенных исследований установлены механизмы периодических и монотонных типов извержений жидких базальтовых-андезибазальтовых магм. Пульсирующее фонтанирование обусловлено возникновением в магматическом потоке пенных кластеров; стромболианские взрывы определяются выходом на поверхность заблокированных кластеров или образующихся из них газовых снарядов; периодическое фонтанирование связано с реализацией в кратере режима открытых пузырьковых кластеров. Монотонные извержения формируются равномерными газогидродинамическими режимами – жидкостным, пузырьковым, смешанным, пенным или газовым. Показано, что характер каждого типа извержения коррелирует с конкретным газогидродинамическим режимом в подводящем канале. Систематизация механизмов разных типов извержений позволяет объяснить природу и разнообразие базальтового-андезибазальтового вулканизма.

Представленные исследования отвечают приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации и являются важной составляющей минимизации рисков от вулканических извержений для объектов социальной инфраструктуры и стратегической значимости (гг. Петропавловск-Камчатский, Елизово, Вилючинск, базы атомных подводных крейсеров и др.). Они позволяют понять механизмы эруптивных событий, выйти на фундаментальные законы функционирования вулканов и осуществить прогноз грядущих вулканических извержений. Это даст возможность бесперебойной работы транспортно-логистических систем, обеспечивающих использование воздушного пространства, и позволит гармонизировать взаимодействие человека и природы.

Исследование поддержано грантом РФФИ 19-05-00401 А.

Литература

1. Козлов Б.К. Формы течения газожидкостных смесей и границы их устойчивости в вертикальных трубах // Журнал технической физики. 1954. № 12. С. 2285-2288.
2. Конов А.С., Озеров А.Ю. Закономерности в динамике извержений Ключевского вулкана и сопровождающем их вулканическом дрожании // Вулканология и сейсмология. 1988. № 33. С. 21-38.
3. Озеров А.Ю. Механизм базальтовых взрывов (экспериментальное моделирование) // Вулканология и сейсмология. 2010. № 5. С. 3-19.
4. Озеров А.Ю. Механизм периодического фонтанирования базальтовых вулканов (по экспериментальным исследованиям и природным наблюдениям) // Экстремальные природные явления и катастрофы. Том. 2. М.: 2011. С. 351-374.
5. Озеров А.Ю. Механизм периодичностей в динамике фонтанирования раскаленных бомб на базальтовых вулканах // Вестник РФФИ. 2012. № 4. С. 28-36.
6. Озеров А.Ю. Пульсирующее фонтанирование раскаленных бомб и природа его возникновения // Вестник КРАУНЦ. № 1. Выпуск 37. 2018. С. 8-19.
7. Ozerov A.Yu., Firstov P.P., Gavrilov V.A. Periodicities in the Dynamics of Eruptions of Klyuchevskoi Volcano, Kamchatka // Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region. AGU Geophysical Monograph Series. V. 172. 2007. P. 283-291.
8. Ozerov A.Yu. Experimental Modeling of the Explosion Mechanism of Basaltic Magmas // Petrology. 2009. V. 17. № 7. P. 653-668.
9. Taitel Y., Barnea D., Dukler A.E. Modelling Flow Pattern Transitions for Steady Upward Gas-Liquid Flow in Vertical Tubes // Journal American Institute of Chemical Engineers. 1980. V. 26. P. 345-354.

Дальний Восток – крупнейший административный и экономический регион Российской Федерации, занимающий важное геополитическое положение в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Уровень развития сельскохозяйственного производства в совокупности с решением задач продовольственной безопасности приобретает здесь первостепенное значение. Сельскохозяйственное производство и аграрная наука в Дальневосточном федеральном округе функционирует в особо сложных природно-климатических условиях, не хватает тепловых ресурсов, низкое естественное плодородие почвы, проявление муссонного климата на большинстве территорий региона (сопровождающиеся тайфунами и циклонами). Сумма активных температур выше 10⁰С по регионам составляет от 1000⁰С в Магадане и Якутии до 2600⁰С на юге региона. Высокая влажность воздуха и температуры являются благоприятной средой для проявления болезней сельскохозяйственных культур [1]. Географическое положение и почвенно-климатические условия позволяют выращивать на этой территории ряд ценных сельскохозяйственных культур, в том числе приоритетных в основной земледельческой зоне Дальневосточного региона – сою, картофель, рис, кукурузу, хотя на этой территории вполне удовлетворительно растут овощные, зерновые, кормовые и плодово-ягодные культуры.

В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642) описаны сценарии научно-технологического развития, определены большие вызовы и соответствующие им приоритеты научно-технологического развития, которые предусматривают формирование агропромышленного комплекса нового поколения, базирующегося на современных технологиях. Один из больших вызовов для общества, государства и науки: потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе [2].

В ближайшие 10-15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать те направления, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке, и обеспечат: переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству; разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных продуктов питания. От решения этих задач во многом будет зависеть достижение технологического прорыва и мощного движения России вперед в ближайшие годы.

Важная роль при этом отводится сельскохозяйственной науке.

Дальневосточное земледелие сориентировано в своем развитии на основные положения основополагающего документа Российской Федерации – Доктрины продовольственной безопасности, разработанной до 2020 года и предусматривающей выход на такие параметры производства продовольствия как мясо и мясопродукты –

¹ ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, член-корреспондент РАН

85%, молоко и молокопродукты – 90%, картофель – 95% [3]. В соответствии с этим во всех субъектах Дальнего Востока разработаны свои Долгосрочные целевые программы на период до 2020 года, в которых предусмотрено производство экологически чистых продуктов питания. При этом, ведущие в сельскохозяйственном отношении субъекты региона выходят на позиции, принятые в Доктрине на завершающий период. Так, Амурская область и Приморский край по производству животноводческой продукции (мясо, молоко, яйцо) к 2020 г. будут производить по 80-100% от запланированного количества продуктов на душу населения. По производству картофеля намеченный рубеж (до 100%) в настоящее время достигнут.

По мнению академика А.К. Чайки, учитывая огромную территорию Дальнего Востока и различия в природных условиях при организации научных исследований, за основу должен быть взят программно-целевой принцип. Необходимо определить приоритетные направления с учетом природных условий региона. Сформировать исследовательские программы и государственные задания, нацеленные на развитие территории. Сконцентрировать ресурсы научных коллективов для решения поставленных конкретных задач. Эти принципы в современных экономических условиях приобретают особую актуальность и соответствуют стратегии развития.

Определяющим фактором устойчивого сельскохозяйственного производства является эффективное использование земельных ресурсов. Несмотря на то, что Российская Федерация самая большая страна в мире, она занимает четвертое место по площади пашни (124 млн. га) после США – 176 млн. га, Индии – 162 млн. га и Китая – 143 млн. га и по наличию пахотных земель на 1 жителя (0,86 га) после Австралии – 2,47 га, Канады – 1,46 га и Аргентины – 0,89 га. При этом биоклиматический потенциал земледельческой территории России почти в три раза ниже, чем в странах Западной Европы и США.

Дальний Восток имеет большой потенциал для развития сельскохозяйственной деятельности в области растениеводства. В 2017 г. площадь сельскохозяйственных угодий в Дальневосточном регионе составило 4,8 млн. га, в том числе пашни около 2,5 млн. га или 53%, залежь 6%, кормовые угодья – 40% (рис. 1). За последние три года (2014-2017 гг.) отмечена положительная тенденция к увеличению пашни на 2%. Однако в среднем по России пашня в структуре сельскохозяйственных угодий составляет более 60%. На Дальнем Востоке резерв увеличения площади неиспользованной пашни составляет около 500 тыс. га. Анализ структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур за 1990-2017 гг. показал, что за этот период произошло резкое увеличение площадей под соей до 1,422 тыс. га (на 827 тыс. га) и снижение под зерновыми и кормовыми культурами (на 689 и 988 тыс. га соответственно). Интерес к сое с каждым годом возрастает, так как эта культура является источником белка, высокоурожайна и рентабельна.

К сожалению, многие хозяйства, в связи с увеличением посевных площадей под этой культурой, не соблюдают принципы чередования сельскохозяйственных культур (севообороты), сеют сою по сое. В результате возникают проблемы борьбы с соевой нематодой, болезнями, вредителями и сорняками.

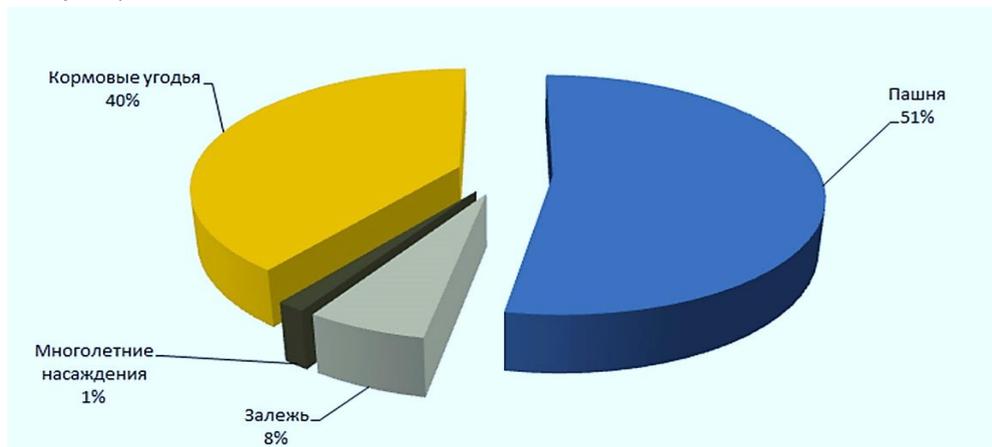
На Дальнем Востоке разработаны и рекомендуются все типы полевых севооборотов. Исследованиями, проведенными в ФНЦ агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки и ВНИИ сои, доказана целесообразность использования севооборотов с насыщением сои до 30-40%. Учитывая, что в Дальневосточном регионе до 500 тыс. га пахотных земель не используются, посеvy сои могут быть увеличены, но одновременно должны возрасти и посеvy других сельскохозяйственных культур.

Сельское хозяйство Дальнего Востока всегда существовало в сложных условиях, но за последние два десятилетия в ходе реформ образовались в значительной степени

неравные экономические условия производственной деятельности региона с другими районами России.

Конкурентоспособность дальневосточной продукции резко снизилась из-за высоких тарифов на тепло- и электроэнергию, транспортные услуги, диспаритета цен на сельскохозяйственную и промышленную продукцию, высокие цены на материально-технические ресурсы.

2014 г.



2017 г.

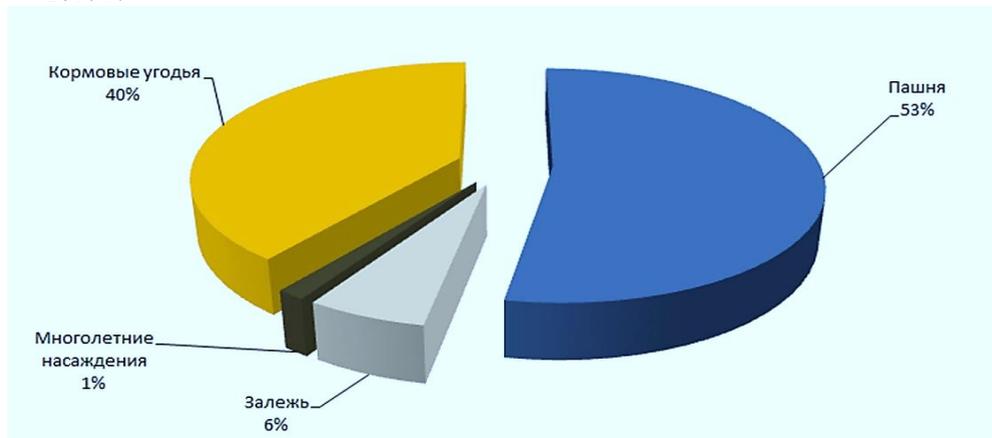


Рис. 1. Структура земель сельскохозяйственных угодий на Дальнем Востоке

В научных учреждениях сельскохозяйственного профиля Дальнего Востока разработаны программы и стратегии инновационного развития до 2020-2025 гг., в которых предусмотрены приоритетные направления исследований в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 21 июля 2016 г. № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» направленные на создание и внедрение конкурентоспособных отечественных технологий, основанных на новейших достижениях науки [4].

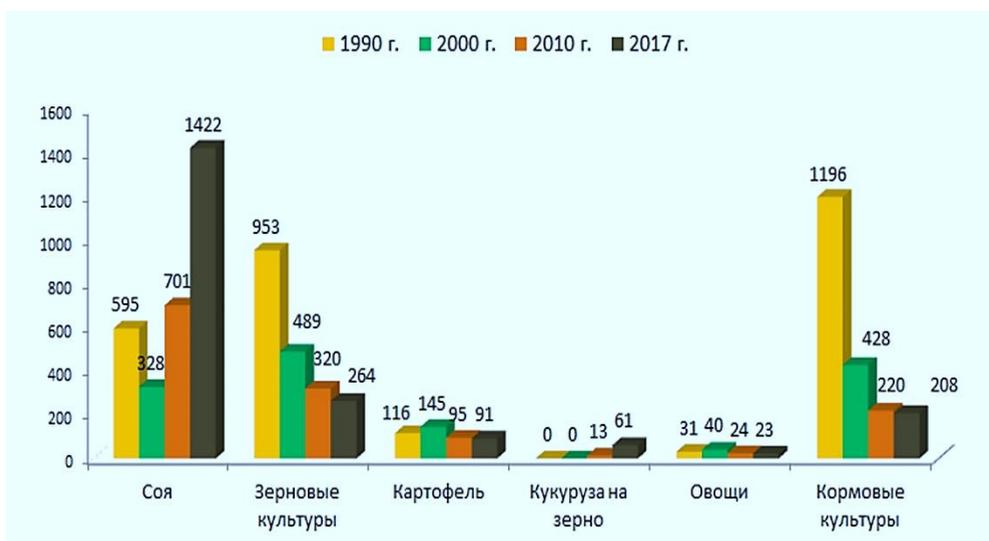


Рис. 2. Структура посевных площадей на Дальнем Востоке, тыс. га

Большое внимание в них уделено совершенствованию селекционного процесса, оригинального семеноводства. На Дальнем Востоке товаропроизводители используют 80% сортов, созданных в НИУ региона (табл.1). В настоящее время в производстве находится более 160 сортов полевых культур. Следует отметить, что доля сортов зарубежной селекции, рекомендованных для возделывания в Дальневосточном регионе у экономически значимых культур: сои из 83 сортов – 52 (63,6 %) – дальневосточные, по картофелю доля зарубежных сортов не превышает 30%, зерновым культурам (пшеница, овес) и гречихе сорта отсутствуют. За последние пять лет сортовой состав обновился на 80-90%. Кроме того, в регионе выращивается более 80 сортов плодово-ягодных и овощных культур, созданных местными селекционерами.

Таблица 1

Сортовой состав сельскохозяйственных культур, допущенных к использованию в Дальневосточном регионе

Культура	Всего сортов в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ		Количество сортов, допущенных к использованию по Дальневосточному региону					
			всего		сорта селекции НИУ Дальнего Востока		сорта зарубежной селекции	
	2012	2018	2012	2018	2012	2018	2012	2018
Соя	119	222	34	83	27	52	5	23
Картофель	318	440	65	72	10	13	13	14
Пшеница яровая	186	231	11	12	8	8	0	0
Пшеница озимая	227	332	0	3	0	0	0	0
Овес	100	126	9	12	4	4	0	0
Ячмень яровой	168	223	11	15	6	8	1	2
Гречиха	45	52	5	5	3	3	0	0

Соответственно отмечаются положительные результаты в аграрном производстве большинства субъектов ДФО. Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что в современных условиях экономическое положение сельскохозяйственных предприятий, конкурентоспособность отраслей и производимой сельскохозяйственной продукции все в большей мере определяются способностью хозяйств к инновационному развитию. При этом подтверждается необходимость усиления мер государственной поддержки предприятий.

Важнейшей стратегической культурой на Дальнем Востоке является соя. Селекционная работа по сое в Дальневосточном регионе проводится в трех научных учреждениях ВНИИ сои – это головное учреждение по исследованию сои в России по всем направлениям: селекция, генетика, микробиология, технологии возделывания и переработка. В 2018 г. в Госреестре селекционных достижений РФ находится 35 сортов ВНИИ сои, 10 – ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 6 сортов – Дальневосточного НИИСХ.

В результате деятельности научных учреждений выведен ряд новых сортов с урожайностью 3,5-4,0 т/га, которые играют важную роль в увеличении ее производства. Созданы новые сорта селекции ВНИИ сои Кружевница, Китросса, Евгения. Заслуживает внимание сорт Китросса – среднеспелый сорт сои, выведенный совместно с Хэйхэйским отделением Хэйлунцзянской академии сельскохозяйственных наук (КНР), с вегетационным периодом 114 дней, урожайностью 3,0-3,9 т/га. Сорт характеризуется прямым стеблем с ограниченным количеством веток, многоцветковой кистью, увеличенным количеством семян в бобах [5].

В Дальневосточном НИИСХ создано два новых сорта сои: Батя и Учитель, с урожайностью 3-4 т/га, устойчивые к полеганию. Селекционерами ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки получены новые сорта сои Муссон, Приморская 86, Сфера с урожайностью более 3 т/га, содержанием белка 40%. Все новые сорта сои конкурентоспособны и не уступают сортам сои зарубежной селекции, превосходят их по устойчивости к болезням, низким температурам в период всходов, стрессовым условиям муссонного климата Дальнего Востока. Представленные сорта сои на выставке ВВЦ «Золотая осень» в Москве были отмечены дипломами и медалями. Большая часть сортов получена на основе использования коллекционных генетических ресурсов Дальневосточной опытной станции ВИР им. Н.И. Вавилова. Здесь сосредоточена уникальная коллекция сои – более 4000 образцов с ценными признаками для использования в селекции.

В регионе накоплен богатый многолетний научный и передовой опыт производства этой культуры, о чем свидетельствует высокая урожайность сои (более 2,5 т/га) в ряде хозяйств Дальнего Востока, где проявляют максимальное внимание производству. В 2017 г. валовое производство сои в России достигло рекордного сбора и составило 3,6 млн. тонн, в том числе в Дальневосточном регионе – 1,8 млн. тонн или 50% от Российского (табл. 2). Основной производитель в России – Амурская область. В целом объем продукции сельскохозяйственного производства во всех регионах за последние годы увеличился в 1,5 раза. Однако этих объемов недостаточно для потребностей народного хозяйства, которые удовлетворяются всего на 20-30%. Потребность России в соевом зерне составляет около 12 млн. тонн.

В перспективе производство сои на Дальнем Востоке будет увеличиваться за счет повышения урожайности. Первостепенная роль при этом отводится сорту и методам селекционной работы. При создании нового исходного материала сои, используется метод маркирования межмикросателлитных последовательностей (ISSR), исследования по агробактериальной трансформации сои. Исследования в направлении

использования молекулярно-генетических методов в селекции целесообразно усилить. Если сохранить существующие темпы роста производства сои в стране, то при использовании сортов нового поколения в недалеком будущем даст возможность удовлетворить в соевом сырье потребности страны.

Таблица 2

Валовой сбор сои в регионах ДФО, тыс. тонн

Субъект РФ	1990 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Российская Федерация	717,3	1806,2	1636,3	2558,0	2844,9	3343,1	3621,3
Дальний Восток	619,9	1029,4	646,8	1506,4	1458,4	1397,9	1834,6
Амурская область	468,6	777,6	398,4	1069,1	1043,4	977,1	1265,4
Приморский край	102,8	169,7	168,5	279,5	255,0	294,2	374,9
Хабаровский край	18,1	16,9	19,1	35,4	30,8	27,1	44,2
Еврейская автоном. область	30,5	65,3	60,8	122,4	129,1	99,3	150,2

Одним из приоритетных направлений в АПК России выделено картофелеводство. Селекционная работа по картофелю проводится почти во всех регионах Дальнего Востока: Якутский НИИСХ, Магаданский НИИСХ, ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Дальневосточном НИИСХ, ВНИИ сои, Камчатском НИИСХ. За счет посадок картофеля в общественных, а также фермерских и личных подсобных хозяйствах, которые дают до 85% продукции, потребности населения Дальнего Востока в этом продукте удовлетворяются полностью [6].

В последние годы получены новые сорта картофеля Алдан (Якутский НИИСХ), Смак (ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки), Валесинка (ВНИИ сои), Арктика (Магаданский НИИСХ), Гейзер (Камчатский НИИСХ) с высокими вкусовыми достоинствами. Для более быстрого и доступного обеспечения населения семенами картофеля отработана технология выращивания безвирусного семенного материала картофеля в теплицах. Получение безвирусного материала проводится совместно ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН.

Овощи – мощнейший регулятор здоровья человека. Как скоропортящийся продукт, завозить его в свежем виде на Дальний Восток из других районов страны экономически нецелесообразно. Поступающие овощи из-за рубежа часто не соответствуют требованиям качества и безопасности. По овощеводству плодотворно работает Приморская овощная опытная станция – филиал ФНЦ овощеводства и Дальневосточный НИИСХ. В районировании находятся десятки сортов овощных культур. В Дальневосточном НИИСХ значительные успехи достигнуты по селекции огурца. Получены новые сорта Наследник и Амурчонок. Дальневосточные сорта огурцов прекрасно растут и обильно плодоносят и в других регионах России, Украины и Белоруссии [7]. Получены новые сорта томата Клад и Галант с урожайностью более 4 т/га, с высокими вкусовыми достоинствами. Приморской овощной опытной станцией ведутся исследования с 30 наименованиями овощных и цветочных культур. В регионе выращивается качественная продукция, но период ее производства и потребления ограничивается летними сроками использования. Перед АПК стоит задача – развить производство овощей в зимний период в теплицах. Такие теплицы вполне могут функционировать в Амурской, Сахалинской областях, Хабаровском и Камчатских краях. Этому соответствуют наличие длительного солнечного освещения в зимний период, природные водные источники на Камчатке. В свою очередь это

позволит в два раза увеличить производство овощей в регионе. Для этого потребуются инвестиции в эту отрасль.

Существенное значение придается увеличению производства важной крупяной культуры – гречихи. По своим биологическим особенностям эта культура чувствительна к изменению погодных условий во время вегетации. Поэтому ее урожайность по годам варьирует от 0,6 до 1,0 т/га, хотя по пищевой ценности она относится к диетической и является одной из лучших сельскохозяйственных и медоносных культур. В России, Канаде, Украине созданы специальные сорта гречихи с повышенным содержанием рутина. В качестве лекарственного средства рутин входит во многие препараты: «Рутин», «Венорутон», «Аскорутин». Создан новый сорт Уссурочка, с урожайностью около 2 т/га, повышенным содержанием рутина в плодах и надземной массе.

В Дальневосточном регионе проводятся работы по селекции зерновых культур в Якутском НИИСХ, Дальневосточном НИИСХ, ДальГАУ, ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. Селекционерами Дальневосточного НИИСХ созданы новые сорта овса Маршал и Башмачок приамурский с потенциальной урожайностью более 5 т/га устойчивые к полеганию, основным болезням.

Многолетний опыт агроэкологического сортоиспытания сортов отечественной и зарубежной селекции показал, что как правило инорайонные сорта пшеницы недостаточно приспособлены к условиям муссонного климата, способствующего сильному развитию грибных болезней (особенно фузариозу колоса). Исключительно важной проблемой является создание местных высококачественных сортов пшеницы [8]. В Дальневосточном регионе зерновые культуры используются в основном на кормовые цели, хотя возможно использование зерна для производства продуктов питания (муки, хлеба, круп). За счет собственного производства Дальний Восток может удовлетворять почти половину потребности населения в хлебе и хлебобулочных изделиях в регионе. Для решения этой жизненно важной задачи необходимы высококачественные ценные и сильные сорта пшеницы. В Дальневосточном НИИСХ созданы новые сорта яровой пшеницы Анфея и Приамурская, в ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки сорт Никольская с потенциальной урожайностью 4-5 т/га, высокими технологическими качествами.

Связь аграрной науки с производством обеспечивается через новые перспективные сорта, созданные с использованием методов биотехнологии, гибриды, технологии, первичное семеноводство. Разработанные проекты инновационного развития по приоритетным направлениям позволят сосредоточить научные силы в НИУ по выполнению первостепенных задач в сельскохозяйственном производстве. АПК Дальнего Востока может полностью обеспечить население продуктами собственного производства, а также и экспортировать продукцию. Изменить ситуацию может только активная государственная политика, основанная на понимании роли сельского хозяйства не как очередной сырьевой отрасли, а как динамично развивающейся сектор экономики региона.

По ряду направлений научные учреждения сельскохозяйственного профиля проводят междисциплинарные исследования с ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Тихоокеанским институтом биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Институтом химии ДВО РАН, Институтом автоматики и процессов управления ДВО РАН, ДВФУ и др. по биотехнологии в селекции сои и риса, фитосанитарному мониторингу болезней сельскохозяйственных культур, изучению микрофлоры почвы, новых биоактивных веществ на сое и гречихе (табл.3).

Таблица 3

Междисциплинарные исследования по растениеводству с научными учреждениями и вузами

Тема (направление исследований)	НИУ, ВУЗ
«Изучение биологических ресурсов видов рода <i>Fagopyrum Mill.</i> (Гречиха) на российском Дальнем Востоке» «Метаболиты морских организмов как потенциальные регуляторы роста, развития и продуктивности сельскохозяйственных культур»	ТИБОХ ДВО РАН
«Разработка методов оптимального управления сложными техническими системами и процессами в задачах обеспечения эффективности, безопасности и ресурсосбережения»	ИАПУ ДВО РАН
«Мониторинг и оценка сортов, линий, сортообразцов зерновых культур, картофеля мировой коллекции ВИР на пораженность вирусами» «Исследование микрофлоры почв Приморского края»	ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
«Исследование отходов производства риса и гречихи (солома и плодовые оболочки) для получения различных ценных веществ»	Институт химии ДВО РАН
«Разработка биотехнологии специализированных и функциональных продуктов питания с повышенной пищевой ценностью на основе сельскохозяйственного сырья, выращиваемого в Дальневосточном регионе» «Изучение процессов биоминерализации зерновых культур, культивируемых в условиях Дальнего Востока»	ДФФУ
«Исследование предпосевной обработки семян сои низкотемпературной аргоновой плазмой»	Объединенный институт высоких температур РАН

Для дальнейшего совершенствования уровня проведения научных исследований в растениеводстве Дальнего Востока необходимо создание биотехнологического центра по сельскохозяйственным культурам. Основные направления стратегии развития научных исследований в растениеводстве:

- геномные и биотехнологические исследования с целью создания новых высокопродуктивных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур (соя, картофель, зерновые, овощные, кормовые, плодово-ягодные и лекарственные культуры) адаптированных к почвенно-климатическим условиям Дальневосточного региона;

- развитие производства и глубокой переработки сельскохозяйственных культур, создание качественных, в том числе функциональных продуктов питания;

- генетические ресурсы (в том числе, биоресурсные коллекции), расширения биологического разнообразия и эффективного использования природных ресурсов региона с внедрением в сельскохозяйственное производство новых культур;

- цифровизация (умное поле, хранилище, сад, теплица) и роботизация сельского хозяйства (спутниковое зондирование, навигация, прецизионное земледелие) с применением новых агротехнологий, защиты растений.

Для реализации данных направлений необходимо увеличение финансирования, улучшение материально-технической базы, современными приборами и оборудованием, подготовка высококвалифицированных кадров, это позволит проводить более глубокие исследования по аграрным вопросам и выполнить задачи, обозначенные в Стратегии научно-технологического развития страны.

Литература

1. *Чайка А.К., Клыков А.Г.* Приоритетные направления в развитии агропромышленного комплекса Дальнего Востока России // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2016. №2. С. 24-30.
2. Указ Президента РФ от 01.12. 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
3. Указ Президента РФ от 30.01.2010 г. №120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».
4. Указ Президента РФ от 21.07.2016 г. № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства».
5. *Синеговская В.Т., Фокина Е.М.* Селекция сои как инструмент решения задач импортозамещения в Дальневосточном Федеральном округе // Тр. Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар: 2018. №3(72). С. 328-331.
6. *Клыков А.Г., Ким И.В.* Современное состояние и пути инновационного развития аграрной науки на Дальнем Востоке // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2017. №3. С. 5-14.
7. *Кулякина Н.В., Кузьмицкая Г.А., Шестопалова Г.Е.* Влияние возраста семян огурца на посевные и продуктивные качества семян // Аграрная Россия. 2018. № 7. С. 10-13.
8. *Асеева Т.А., Карачева Г.С., Ломакина И.В., Рубан З.С.* Формирование урожайности и качества зерна яровой и озимой пшеницы в условиях Среднего Приамурья // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 1. С. 3-6.

В.А. Стоник¹

О создании фармацевтического кластера в Приморском крае Российской Федерации

В конце 2016 года рабочей группой из представителей ряда Институтов Дальневосточного Отделения РАН, в том числе Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова (ТИБОХ), Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева (ТОИ), Института биологии моря (ИБМ), ныне Национального центра морской биологии им. А.В. Жирмунского, Биолого-почвенного института (БПИ), ныне Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии, Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова (НИИЭМ) ДВО РАН, началась разработка проекта Концепции создания фармацевтического кластера в Приморском крае. В настоящем сообщении в кратком виде излагаются основные идеи этой концепции.

Предпосылки и необходимость развития фармацевтических производств в Приморском крае

Научное изучение природных соединений и работы по их практическому использованию переживают в последние годы ренессанс (возрождение) [1-4]. Интерес к таким исследованиям, направленным в первую очередь на разработку новых

¹ Научный руководитель Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, академик РАН

лекарств и средств профилактики социально значимых болезней, а также на создание новых продуктов здорового (функционального) питания, вновь усилился. За разработку новых противопаразитарных лекарств на основе природных соединений в 2015 г. была присуждена Нобелевская премия в области медицины и физиологии (Ту Юю, С. Омура, У. Кэмпбелл). Кроме того, недавно для применения в клинической практике были разрешены противоопухолевые препараты нового поколения (ведотин, ионделис, эребулин), созданные в результате исследований метаболитов морских организмов [5-6]. Можно констатировать, что каждый год растет число эффективных препаратов для медицины, имеющих в качестве активных субстанций природные соединения, их производные или аналоги.

Приморский край богат биологическими объектами, содержащими природные биологически активные вещества. Край и весь Дальний Восток России отличаются высоким биологическим разнообразием. Так, на юге Дальнего Востока России на континенте сосуществуют представители флоры и фауны как Сибирского, так и Восточноазиатского происхождения, а огромная береговая линия всего этого огромного региона граничит с пятью морями Тихого и Арктического океанов, где обитают многие тысячи видов морских организмов.

Преимущества этой территории состоят и в том, здесь имеются значительные ресурсы дикорастущих растений, произрастающих в местах с ненарушенной экологией. Большие перспективы открываются здесь и для использования фармацевтическими производствами уникального морского сырья: а именно, водорослей, морских беспозвоночных и рыб, а также морских микроорганизмов. Разнообразные морские организмы содержат ценные липиды, важные для полноценного питания, полисахариды, проявляющие иммуностимулирующее, противовирусное и противоопухолевое действие и нередко являющиеся детоксикантами, фенольные и хиноидные соединения, благоприятно воздействующие на сердечно-сосудистую систему, гликозиды, стимулирующие клеточный иммунитет и защищающие клетки мозга при кислородном голодании, и другие физиологически активные соединения.

Некоторые уникальные биологические объекты Приморского края, содержащие природные соединения, проявляющие ценное с медицинской точки зрения биологическое действие, показаны на рис. 1.

Дальневосточными учеными на основе природных соединений создана серия разрешенных к применению и производству лекарственных препаратов, а также физиологически активных добавок к пище, разработаны рецептуры большого ассортимента продуктов функционального питания. В Институтах и ВУЗах постоянно создают новые продукты для медицинского и пищевого применения. Работы ученых могут и должны стать научной основой для развития фармацевтических и парафармацевтических производств на Дальнем Востоке России.

В России в настоящее время имеются многочисленные производственные площадки для производства лекарств. Однако именно в Приморском крае таких площадок нет (кроме производства диффузионных препаратов), и они могут оказаться вполне рентабельными при условии, что их продукция будет реализовываться не только на внутри российском рынке, но и на рынках соседних азиатских стран. В самом деле, в соседних странах имеются многовековые традиции применения лекарственных растений и морских организмов в традиционной медицине.

Продукция из экологически чистого и дикорастущего сырья Приморья с научно доказанными целебными свойствами при соответствующей рекламе и организации торговли может найти спрос не только в России, но и в Республике Корея, Китайской Народной Республике и других сопредельных странах.



Аралия манчжурская



Лимонник китайский



Элеутерококк колючий



Маакия амурская



Японская кукумария



Фукус эванесценс



Морская трава zostера



Асцидия халоцинтia

Рис 1. Некоторые растения и морские организмы, перспективные для использования фармацевтической промышленностью

Восстановление галенового производства в Приморском крае

Во Владивостоке на протяжении многих десятков лет работало галеновое производство – Владивостокская фармацевтическая фабрика, созданная на базе Галеновой лаборатории, существовавшей с 1924 по 1944 гг. В 1944 году Галеновая лаборатория получила статус фармацевтической фабрики. В 1974 году коллектив фабрики переехал в новое здание во Владивостоке по улице Воропаева, 9.

До 2010-2011 гг. это небольшое динамично развивающееся предприятие фармацевтической индустрии, оснащенное отечественным и импортным оборудованием, выпускало более 70 наименований продукции по 11 номенклатурным группам: настойки и капли; экстракты; сиропы; масла; медицинские спирты; растворы и смеси; фасованное лекарственное растительное сырье; биологически активные добавки к пище (БАДы). На основе разработок дальневосточных ученых на этой фабрике выпускались настойки элеутерококка, заманихи, женьшеня и других уникальных лекарственных растений Приморского края. Однако к настоящему времени фабрика подвергнута процедуре банкротства, производство прекращено, а значительная часть ее оборудования утеряна. Отчасти это было связано с фактическим прекращением работы (с 2002 г) специализированного совхоза «Женьшень» (Анучинский р-н Приморского края, создан в 1961 г.), обеспечивающего фабрику и другие производства на территории СССР некоторыми видами биологического сырья, а также с появлением на внутреннем рынке страны ряда многочисленных импортных галеновых препаратов. В самое последнее время ПАО «Тихоокеанская инвестиционная группа» (ТИГР), основанная бывшим губернатором Приморского края С.М. Даркиным, возобновила промышленное выращивание женьшеня. Необходимо организовать и выращивание других ценных лекарственных растений.

Кроме наземных растений, разнообразные промысловые виды водорослей, морских трав, беспозвоночных и других морских организмов могут также быть применены в качестве биологического сырья для галенового производства. Ниже дан

список лекарственных растений Приморского края и Дальнего Востока России, перспективных для использования в галеновом производстве (составлен акад. РАН П.Г. Горовым и дополнен некоторыми видами морского происхождения).

Список лекарственных растений и других биологических объектов, разрешенных Минздравом России для медицинского использования.

1. Аир обыкновенный – *Acorus calamus* L., корневища используют для возбуждения аппетита и при различных желудочно-кишечных заболеваниях.

2. Аралия высокая (аралия маньчжурская) – *Aralia elata* (Miq.) Seem. (*A. manshurica* Rupr. et Maxim.). Настойку корней аралии высокой применяют как тонизирующее средство при нервных и психических заболеваниях, а также при гипотонии.

3. Багульник болотный – *Ledum palustre* L. Листья и молодые побеги (настои) используют как отхаркивающее средство при бронхитах.

4. Бадан тихоокеанский – *Bergenia pacifica* Kom. Корневища бадана применяют при колитах, а также в виде полосканий, бадан полезен при воспалительных заболеваниях полости рта, при болезнях горла и глотки.

5. Бархат амурский – *Phellodendron amurense* Rupr. Луб бархата содержит до 2% алкалоидов и является источником для получения берберина, а листья бархата используют для производства противовирусного препарата флакозида (лечение гепатита А и гепатита В).

6. Береза плосколистная (маньчжурская) – *Betula platyphylla* Sukacz. (*B. mandshurica* (Regel) Nakai). Настойку и отвар березовых почек принимают внутрь при отеках сердечного происхождения и при заболеваниях печени и желчных путей, при миозитах и артритах. Листья применяют для лечения холецистита.

7. Боярышник даурский – *Crataegus dahurica* Koehne ex Schneid. Плоды и цветки боярышника применяют при гипертонической болезни, стенокардии, мерцательной аритмии, склерозе.

8. Брусника обыкновенная – *Vaccinium vitis-idaeae* L. Листья брусники применяют (отвар и настои) при почечнокаменной болезни, подагре, ревматизме, цистите.

9. Горец перечный (водяной перец) – *Polygonum hydropiper* L. Траву (надземную часть) горца перечного используют как кровоостанавливающее средство при желудочно-кишечных кровотечениях.

10. Горец почечуйный (почечуйная трава) – *Polygonum persicaria* L. Трава применяется при лечении больных с атоническими запорами и при маточных кровотечениях.

11. Горец птичий (спорыш, птичья гречиха) – *Polygonum aviculare* L.s.l. Применяют траву при хронических заболеваниях мочевыводящих путей, после операционного удаления камней из почек.

12. Диоскорея ниппонская – *Dioscorea nipponoca* Makino. Корневища диоскореи содержат диосгенин. Препарат полиспонин рекомендован как лечебное и профилактическое средство при атеросклерозе сосудов головного мозга, а также для нормализации кровяного давления и снижения уровня холестерина в крови.

13. Женьшень настоящий – *Panax ginseng* C.A. Meу. Настойка (водочная) корней культивируемого (и дикорастущего) женьшеня является тонизирующим средством, применяется при лечении нервных и психических заболеваний, гипотонии и диабете.

14. Крапива двудомная – *Urtica dioica* L. Листья крапивы используют как кровоостанавливающее средство, а также при гастритах, экземе, язвенной болезни желудка.

15. Кровохлебка лекарственная – *Sanguisorba officinalis* L. Корневища и корни содержат 12-20% дубильных веществ пирогалловой группы, которые используют в составе вяжущих, кровоостанавливающих и противовоспалительных средств.

16. Ландыш майский (ландыш Кейске) – *Convallaria majalis* L. s.l. (*C. keisei* Miq.). Используют надземную часть (траву) для приготовления ландышевых капель и сухого экстракта, применяют при неврозах сердца.

17. Леспедеца копеечниковая – *Lespedeza hedyaroides* (Pall.) Kitag. Надземную часть (траву) применяют для производства препарата хелепина и сухого очищенного экстракта для лечения заболеваний, вызываемых вирусом герпеса, опоясывающего лишая, ветряной оспы. Листья и веточки *Lespedeza bicolor* Turcz. (Леспедеца двухцветная), которая распространена в Приморье и Приамурье, используют как средство при мочекаменной болезни.

18. Лимонник китайский - *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. Семена и плоды лимонника оказывают на человека стимулирующее действие, влияют на условно-рефлекторную деятельность головного мозга, повышают кровяное давление.

19. Липа амурская – *Tilia amurensis* Rupr. Соцветия с прицветными листьями (липовый цвет) применяются как потогонное и жаропонижающее или смягчительное средство.

20. Подорожник большой – *Plantago major* L. Листья подорожника используют для лечения язвенной болезни желудка, гастрита и для получения препарата плантаглюкозид.

21. Секуринега полукустарниковая – *Securinega suffruticosa* (Pall.) Rehd. Молодые и недревесневшие верхушки стеблей с листьями, бутонами и цветками в заводских условиях используют для получения алкалоида секуринина, который является заменителем импортного стрихнина и обладает меньшей, чем стрихнин, токсичностью.

22. Тысячелистник обыкновенный – *Achillea millefolium* L. Цветущая надземная часть (травы) применяется при заболеваниях желудочно-кишечного тракта (гастриты, колиты, метеоризм) кровотечениях из десен и ран.

23. Хвощ полевой – *Equisetum arvense* L. Зеленые побеги (травы) применяют как мочегонное средство при сердечных заболеваниях, сопровождающихся отечными явлениями.

24. Цимицифуга даурская – *Cimicifuga dahurica* (Turcz.) Maxim. Корневища и корни применяют для лечения гипертонической болезни I и II степени.

25. Чага (березовый гриб) – *Inonotis obliquus* (Pers.) Pilat. Настой чаги и другие ее препараты применяют как симптоматические средства для лечения язвенной болезни желудка, гастрита, злокачественных опухолей.

26. Черда трехраздельная – *Bidens tripartita* L. s.l. Травы череды (отвар) используется при золотухе, нарушениях обмена веществ, при простудных заболеваниях и как мочегонное средство.

27. Чистотел большой – *Chelidonium majus* L. Используют высушенную траву, собранную во время цветения, для лечения туберкулеза кожи, заболеваний печени и желчного пузыря, сок – для выведения бородавок.

28. Шиповник даурский – *Rosa dahurica* Pall. и шиповник морщинистый - *Rosa rugosa* Thunb. Плоды шиповников широко используют для лечения и профилактики авитаминозов, получения препаратов халосас, каротолин, «масло шиповника».

29. Элеутерококк колючий (свободнаягодник, «дикий перец») – *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim. Препараты корней элеутерококка при низкой токсичности стимулируют физическую и умственную работоспособность человека и используют в комплексном лечении больных злокачественными опухолями.

30. Ламинария японская (морская капуста японская) – *Laminaria japonica* Aresch. Листовую пластину двухгодичной бурой водоросли (порошок слоевища) используют

для лечения гипертиреоза и базедовой болезни, для профилактики эндемического зоба, атеросклероза.

31. Ульва продырявленная – *Ulva lactuca*. Съедобная зеленая водоросль, спиртовые экстракты которой обладают гепатопротекторными свойствами.

32. Фукус эванесценс (*Fucus evanescens*) – бурая водоросль, спиртовые экстракты которой проявляют ранозаживляющие свойства. Используется для производства препаратов серии Фукалам (разработаны в ТИБОХ ДВО РАН).

33. Асцидия *Halocynthia aurantium*, спиртовое извлечение из которой (препарат Хаурантин) – лечебно-профилактическая пищевая добавка, обладающая высокой антистрессорной, иммуномодулирующей, противоопухолевой и гепатопротекторной активностью (разработана в ТОИ ДВО РАН).

Производство многих из указанных выше препаратов могло бы быть организовано с помощью ученых ДВО РАН при финансовой поддержке государственных органов и частных компаний. Для восстановления галенового производства необходимо:

1) создать небольшие, но оснащенные современным оборудованием производственные помещения, обратив внимание на фасовочные и упаковочные линии, соответствующие традициям азиатских стран,

2) значительно расширить производственный ассортимент (по сравнению с существовавшим до банкротства), включив в него препараты морского происхождения,

3) усилить научную доказательную базу, подтверждающую полезные свойства продукции,

4) нацелить выпускаемую продукцию в значительной мере на рынки азиатских стран.

Новым типом продукции могут стать безалкогольные бальзамы и коктейли, содержащие извлечения из специально подобранных композиций биологических источников, чьи вещества дополняют и расширяют действие экстрактов из различных видов растений и морских организмов. Рецептуры таких бальзамов разработаны в ТИБОХ ДВО РАН, а в ряде случаев (дополнительно к выпускаемым в промышленном масштабе бальзамам серии Гербамарин, также созданных дальневосточными учеными) наработаны опытные партии новых наименований таких продуктов, в том числе безалкогольных бальзамов Марилайф.

В настоящее время в России почти не производят активные субстанции известных лекарств (дженериков). В основном такие субстанции (очень часто природного происхождения) закупают в КНР и Индии. В некоторых случаях выпуск таких субстанций также может быть организован на планируемом к созданию производстве.

Создание современного фармпроизводства для выпуска лекарственных препаратов и лекарственных субстанций

Для создания рентабельных Фармацевтических производств, размещенных в Приморском крае, необходимо соблюдение нескольких условий:

1) предварительной разработки бизнес-плана (что требует непредусмотренных в государственных заданиях научных Институтов дополнительных затрат);

2) привлечения инвестиций, причем не только для самого производства, но и для завершения выполняемых в Институтах ДВО РАН и ДВФУ разработок ряда лекарств и других препаратов;

Такие предприятия должны выпускать оригинальную продукцию, главным образом на основе природного сырья, в сочетании с выпуском наиболее востребованных в нашем регионе препаратов-дженериков.

Производство должно быть нацелено на выпуск продукции не только для фармацевтического рынка в нашем Дальневосточном регионе и в других регионах России, но и для рынка сопредельных азиатских стран, причем выпускаемые продукты должны пройти официальную регистрацию в этих странах. Часть продукции, в том числе современный перевязочный материал и ранозаживляющие средства, должна выпускаться для нужд Тихоокеанского Флота и частей Российской армии, расположенных в Дальневосточном регионе.

Одной из особенностей такого производства (или производств) должна стать его нацеленность на использование в качестве исходного сырья главным образом различных биологических объектов именно нашего региона. Такое биологическое сырье является возобновляемым, и оно должно быть получено не только из дикой природы, но и за счет аквакультурирования, создания плантаций лекарственных растений и/или культивирования в ферментерах соответствующих микроорганизмов.

Прежде всего, на предприятиях Кластера необходимо создать производственные мощности для получения биологических субстанций. Участок подготовки растворителей, в том числе чистой апиригенной воды, абсолютно необходим для всех дальнейших операций. Должна быть предусмотрена и регенерация растворителей методом их ректификации.

Другие технологические участки должны обеспечить экстракцию ценных веществ с помощью водных растворов и легко воспламеняющихся жидкостей. Мембранные технологии, включая ультрафильтрации, необходимо использовать для разделения экстрактов высоко- и низкомолекулярных продуктов. Концентрирование экстрактов потребует применения вакуумных испарителей различных типов, лиофильных и распылительных сушек. Очистка субстанций предусматривает наличие установок для вакуумной возгонки, кристаллизации и флеш-хроматографии. Модельные установки всех этих типов имеются и работают на Опытном производстве (опытно-промышленной установке) ТИБОХ ДВО РАН.

Масштабирование процессов, реализуемых на опытно-промышленной установке ТИБОХ ДВО РАН, позволит нарабатывать промышленные партии целого ряда востребованных продуктов. К ним относятся: альгиновая кислота, каррагинаны, фукоиданы, ламинараны и другие полисахариды из различных видов водорослей, пектин зостерин из морских трав, хиноидные пигменты из морских ежей, ценные липиды из морских рыб и беспозвоночных, полифенольные соединения, алкалоиды, витамины и другие продукты из наземных растений, хондроитин сульфаты и гликозиды из иглокожих, сурфактанты и антибиотики из морских бактерий и грибов, ферменты из морских беспозвоночных и микроорганизмов и другие препараты медицинского или пищевого применения.

Разработка технологий комплексной переработки биологического сырья, прежде всего морского происхождения, в ряде случаев позволит использовать одно и то же биологическое сырье для получения ценных биопрепаратов и для пищевого применения. Такие технологии для переработки некоторых видов сырья уже разработаны, в других случаях соответствующие разработки могут быть выполнены в плановом порядке.

Органический синтез природных соединений позволяет получать некоторые субстанции лекарств с более высокими выходами, чем при выделении из морского или наземного биологического материала. В ряде случаев это должно приводить к снижению себестоимости целевых продуктов. Фармацевтические реакторы органического синтеза такого типа, как реактор, установленный на Опытном производстве ТИБОХ ДВО РАН, позволят решать многие производственные задачи, связанные с органическим синтезом. Кроме того, создание участка органического

синтеза на Фармацевтическом производстве должно быть нацелено не только на выпуск новых препаратов, разрабатываемых в ТИБОХ ДВО РАН (Неогистохром, Коурохитин) и других институтах ДВО РАН, но и на выпуск препаратов – дженериков.

Фармпредприятие кластера должно иметь ампульную линию для масштабирования производства разработанных в ТИБОХ ДВО РАН кардиологического и офтальмологического препаратов серии Гистохром [7] (выпускаются около 10 лет фармацевтическими заводами в центральной части России) и других препаратов, в том числе дженериков, а также ныне создаваемых медицинских препаратов, расширяющих ассортимент лекарственных средств серии Гистохром. Мощность такой линии может быть не очень высокой (от несколько тысяч ампул за рабочий день), однако необходимо предусмотреть возможность ампулирования в токе инертного газа.

Интерес к препаратам серии Гистохром проявляют в таких странах как Республика Корея, США и КНР. Так, в Республике Корея за последние 3-4 года опубликованы результаты дополнительного изучения особенностей и механизмов действия этих препаратов, подтвердившие их значительный лечебный потенциал в кардиологии и офтальмологии [8-9].

Фармацевтическое предприятие, несомненно, должно иметь линию таблетирования для выпуска препаратов-дженериков и, возможно, гепатозащитного препарата Максар (разработка ТИБОХ ДВО РАН), готовая лекарственная форма которого выпускается в настоящее время в центральной части России, а также новых пероральных форм, содержащих активную субстанцию Гистохромов. Композиции, включающие хиноидные пигменты морских ежей и другие биологически активные субстанции, пригодные для перорального применения, уже запатентованы и готовы к доклиническим испытаниям.

Другая производственная линия – линия капсулирования – может быть, на первых порах, загружена производством капсульных форм препаратов серии Фукалам (ТИБОХ и НИИЭМ). Кроме того, она может выпускать липидные препараты, обогащенные омега-3 жирными кислотами (разработки ИБМ) и каррагинаном (ТИБОХ). Ассортимент продукции может быть расширен за счет биологически активных пищевых добавок на основе зостерина, а также на основе субстанций растительного происхождения из медицинских растений Приморского края и других природных субстанций.

Участок выпуска мазевых форм и иных лекарственных форм для наружного применения мог бы выпускать ранозаживляющие мази на основе Коурохитина (ТИБОХ ДВО РАН), обладающие лечебным действием при контактном дерматите и псориазе, современные перевязочные средства, создаваемые в НИИЭМ ДВО РАН, и другую продукцию.

Участок низкотемпературных технологий может быть нацелен на выпуск ферментативных препаратов, субстанции которых необходимо нарабатывать при температуре не выше 5°C, например ранозаживляющего медицинского препарата Коллагеназа КК.

Как уже указывалось, важную роль при формировании ассортимента продукции и совершенствовании технологий ее производства могут сыграть опытно-экспериментальные производства Институтов ДВО РАН и ДВФУ, в особенности самое крупное и наиболее оснащенное из них – опытное производство ТИБОХ ДВО РАН (рис. 2). Здесь создавалась технологическая документация на новые продукты, выпускались и выпускаются их опытные партии, производятся активные субстанции лекарственных препаратов серий Гистохром, Максар, Коурохитин, опытные партии пищевых добавок, активные субстанции для разнообразных продуктов функционального питания, косметики и других изделий. Опытные-экспериментальные

производства помогут разработать промышленные технологии получения не только новых фармацевтических, но и парафармацевтических (галеновых) препаратов.



Рис. 2. Опытная-промышленная установка ТИБОХ ДВО РАН

В настоящее время формируется примерный список оборудования для указанных выше участков и линий.

Дополнительные пострегистрационные клинические наблюдения ряда фармацевтических препаратов, разработанных дальневосточными учеными, были выполнены в Медицинском объединении ДВО РАН, что открыло перспективы для существенного расширения областей их применения в медицине, например, для применения препарата Максар для нормализации липидного обмена пациентов с различными патологиями.

Развитие производств физиологически активных добавок к пище и продуктов функционального питания

В Приморском крае за последние годы создан широкий ассортимент продуктов этого типа, включая пищевые добавки и композиции серий Гербамарин (ТИБОХ ДВО РАН совместно с ООО «Уссурийский бальзам»), Зостерин, Фуколам, Марилайф (ТИБОХ ДВО РАН), Детоксал, Полисорбовит (ИБМ ДВО РАН), Тинростим, Артротин, Витальгин, Ламиналь (ТИНРО центр) и другие. Эти препараты выпускаются рядом недавно созданных МИПов, включая и те, учредителями которых являются упомянутые выше Институты.

Клинические наблюдения, выполненные в МО ДВО РАН, обосновывают применение содержащих эхинохром А пищевых добавок в качестве стимулирующих средств в геронтологии, а фукоидансодержащих пищевых добавок - в качестве вспомогательных средств для лечения метаболических нарушений. В числе продуктов функционального питания имеются разработанные ДВФУ совместно с ТИБОХ ДВО РАН и ИБМ ДВО РАН различные сорта колбас, хлебобулочных изделий, шоколад Морской сюрприз и многие другие продукты, содержащие эти и подобные им субстанции.

Имеются хорошие перспективы и для дальнейшего развития этого направления, в том числе для разработки и производства новых ценных биопрепаратов морского происхождения и содержащих их продуктов питания, а также масштабирования выпуска некоторых из ныне производимых на опытно-экспериментальных производствах продуктов этого типа.

Назрела необходимость организации и развития Инновационного центра «Биопрепараты для здорового питания» с выпуском биологически активных добавок к пище и активных субстанций, входящих в состав разработанных продуктов функционального питания. Морские субстанции, включая различные полисахариды, белковые гидролизаты, липиды, фракции природных антиоксидантов, витаминов и других ценных веществ, востребованы для промышленного получения новых видов

кисломолочных продуктов (разработки НИИЭМ, ДВФУ и ТИБОХ ДВО РАН), кондитерских изделий (разработки ДВФУ и ТИБОХ ДВО РАН), безалкогольных напитков специального назначения (разработки ТОИ и ТИБОХ ДВО РАН), ликеров и т.д.

Многие ценные субстанции могут быть получены при комплексной переработке такого морского сырья как морская трава *Зостера марина*, бурые водоросли, красные водоросли, морские ежи, съедобные голотурии, морские звезды, отходы переработки краба, рыбы и др. В ряде случаев принципы такой комплексной переработки разработаны и запатентованы.

Растительное сырье Дальнего Востока России является перспективным источником витаминов и полифенольных соединений с канцерпревентивными и антиоксидантными свойствами. Многочисленные субстанции природного происхождения могут быть использованы для улучшения полезных свойств пищевых продуктов.

Создание биотехнологического инновационного центра

В более отдаленной перспективе следует рассмотреть создание Биотехнологического центра, продукция которого может основываться на использовании микробиальных источников сырья и ферментативных биотехнологий. В ТИБОХ ДВО РАН описано не менее 200 новых видов морских микроорганизмов, а соответствующая коллекция морских микроорганизмов включает около 4000 аксенических штаммов.

Найдены и запатентованы штаммы, продуцирующие такие биологически активные субстанции как фузидовая (фузидиевая) кислота и убихиноны. Фузидовая кислота – антибиотик, который подавляет биосинтез белка бактерий. Препараты фузидовой кислоты эффективны, в основном, в отношении *Staphylococcus spp.*, включая большинство штаммов *S. aureus* (в т.ч. MRSA – метициллинорезистентного *S. aureus*) и *S. epidermidis*. Этот антибиотик эффективен также в отношении стафилококков, устойчивых к пенициллинам, стрептомицину, хлорамфениколу, эритромицину. Убихиноны – жирорастворимые коферменты, представленные преимущественно в митохондриях клеток, которые принимают участие в окислительном фосфорилировании клеток, являются витаминами. Максимальное содержание убихинонов отмечено в органах с наибольшими энергетическими потребностями, например, в сердце. В последние годы появляется все больше научной информации о полезных свойствах убихинонов и близких к ним природных соединений.

Морские микроорганизмы и макроорганизмы – богатый источник различных ферментов, пригодных для использования в биотехнологиях и в некоторых случаях – в медицине. Дальневосточными учеными открыты ферменты ДНКазы, способные расщеплять только двухцепочечные молекулы ДНК. Ферменты такой специфичности – прекрасные инструменты для генноинженерных манипуляций и молекулярно-биологических исследований.

Несколько лет назад дальневосточными учеными разработаны технологии получения щелочной фосфатазы с беспрецедентно высокой удельной активностью из морской бактерии. Были созданы гибридные белки, включающие этот фермент и другие белки морского происхождения. Белковые препараты на основе щелочных фосфатаз широко применяются в составе различных медицинских диагностикомов.

С помощью ферментативных трансформаций с использованием других морских белков возможно получение универсальных эритроцитов, которые могут применяться для переливания пациентам любой группы крови.

Были разработаны методы ферментативных трансформаций доступных водорослевых полисахаридов, таких как ламинараны, в препараты типа Транслам с высокой противорадиационной активностью и Антивир, защищающий растения от вирусных заболеваний.

Порины бактерий и другие микробные белки были использованы учеными ТИБОХа в составе наборов для диагностики дальневосточной скарлатиноподобной лихорадки (псевдотуберкулеза) и других иерсиниозов – болезней, вызываемых бактериями рода Иерсиния.

Следует отметить, что многие из упомянутых выше разработок в настоящее время не доведены до уровня, обеспечивающего возможность их немедленного применения в промышленности. Однако перспективы развития соответствующих технологий являются достаточно впечатляющими и могут стать вполне реальными после доработки соответствующих препаратов и технологий.

Заключение

Идеи предлагаемой концепции предлагается для обсуждения и доработки. По нашему мнению, разработка детально проработанной Концепции, ее обсуждение с потенциальными инвесторами может дать импульс созданию бизнес-планов, а затем и проектированию соответствующих производств.

Литература

1. *I. Patterson, E.A. Anderson.* The Renaissance of Natural Products as Drug Candidates. *Science*, 2005, 310, 5747, pp. 451-453.
2. *D.A. Dias, S. Urban, U. Roessner.* A Historical Overview of Natural Products in Drug Discovery.
3. *Metabolites*, 2012, 2, pp. 303-336.
4. *D.J. Newman, G.M. Cragg.* Natural products as sources of new drugs from 1984 to 2014, *J. Nat. Prod.*, 2016, 79, pp. 629-661.
5. *T. Molinski.* All Natural: the renaissance of natural products chemistry. *Organic Letters*, 2014, 16, 15, pp. 3849-3855.
6. *T.F. Molinski, D.S. Dalisay, S. Lievens.* Drug Development from marine natural products. *Nat. Revs Drug Discovery*, 2009, 8, 1, pp. 69-85.
7. *V.A. Stonik.* Studies on natural products as a road to new drugs. *Herald Russ. Acad. Sci.*, 2016, 86, 3, pp. 217-225.
8. Pat. EP 1121930 B1 European Patent Office (Appl. 14.11.2007) Drug preparation «Histochrome» for treating acute myocardial infarction and ischemic heart disease / Elyakov G.B., Maximov O.B., Mischenko N.P., Koltsova E.A., Fedoreev S.A., Glebko L.I., Krasovskaya N.P., Artjukov A.A. Int.Cl.7 A 61 K 31/122.
9. *Jeong S.H., Kim H.K., Song I.-S., Noh S.J., Marquez J., Ko K.S., Rhee B.D., Kim N., Mishchenko N.P., Fedoreyev S.A., Stonik V.A., Han J.* Echinochrome A increases mitochondrial mass and function by modulating mitochondrial biogenesis regulatory genes. *Marine Drugs*, 2014, 12, pp. 4602-4615.
10. *Jeong S.H., Kim H.K., Song I.-S., Lee S.J., Ko K.S., Rhee B.D., Kim N., Mishchenko N.P., Fedoreyev S.A., Stonik V.A., Han J.* Echinochrome A protects mitochondrial function in cardiomyocytes against cardiotoxic drugs. *Marine Drugs*, 2014, 12, pp. 2922-2936.

Б.И. Гельцер¹, К.И. Шахгельдян², В.В. Грибова³

**Опыт применения и перспективы развития технологий анализа больших данных и методов машинного обучения в клинической медицине и здравоохранении
Дальневосточного Федерального округа**

В последние годы наблюдается резкий подъем спроса на продукты искусственного интеллекта (ИИ) в медицине, который объясняется, с одной стороны снижением себестоимости их разработки, а с другой - смещением акцента в глобальном здравоохранении от конвенциональной (традиционной, не всегда основанной на доказательствах) медицины к превентивной и персонализированной, учитывающей особенности конкретного пациента (генетические, физиологические и др.). Кроме того, существенно увеличиваются объемы информации в различных сегментах системы здравоохранения и клинической медицины в связи с накоплением данных из электронных историй болезни, результатов лабораторных и инструментальных исследований, мобильных устройств для мониторинга физиологических функций человека, экономических показателей деятельности медицинских организаций и др. Естественным следствием этих процессов является возможность дальнейшего использования этой информации в клинических и популяционных исследованиях, построении интеллектуальных систем поддержки принятия решений организаторов здравоохранения и клиницистов. Интеллектуальный анализ биомедицинских данных выполняется при профессиональной кооперации специалистов из трех научно-практических направлений деятельности: медицины (исследователи в области здравоохранения, клинической и экспериментальной медицины, физиологии, гигиены, медицинской экологии и др.), математики (ИИ и статистика) и информационных технологий (Big Data, облачные технологии, обработка данных). Их интеграция является залогом получения новых знаний и практических результатов.

Проекты на основе ИИ в медицине можно условно разделить на 4 группы:

- 1) системы анализа медицинских изображений, текстовых и звуковых данных;
- 2) мобильные устройства мониторинга физиологических функций, позволяющие врачам в реальном времени получать информацию, оптимизировать процессы диагностики и своевременно корректировать лечение;
- 3) создание моделей на основе интеллектуального анализа больших данных, позволяющих оценить и прогнозировать процессы в общественном здравоохранении, а в клинической медицине обеспечивать поддержку в принятии врачебных решений с учетом индивидуальных особенностей развития заболеваний;
- 4) инженерия знаний и создание интеллектуальных систем поддержки принятия врачебных решений.

ИИ объединяет три математических направления: инженерия знаний и интеллектуальные системы, методы машинного обучения, искусственные нейронные сети (ИНС). Эти методы позволяют проверять гипотезы, строить модели, оценивать риски, прогнозировать, а также автоматизировать диагностику заболеваний, давать рекомендации по назначению терапии с учетом персонифицированных данных конкретного пациента. Результативность применения систем интеллектуальной

¹ Директор департамента клинической медицины Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета, член-корреспондент РАН

² Директор Института информационных технологий Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, доктор технических наук

³ Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, доктор технических наук

поддержки оценивают по точности диагностики и снижению количества врачебных ошибок, а также оптимизации финансовых затрат.

С 2016 г. во Владивостоке при интеграции нескольких образовательных, научных и медицинских организаций реализуется инициативный проект «Анализ больших данных в здравоохранении и биомедицине», получивший в 2018 г. поддержку РФФИ. Проект объединяет Школу биомедицины Дальневосточного федерального университета, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Тихоокеанский государственный медицинский университет, Медицинский информационно-аналитический центр Приморского края, Центр гигиены и эпидемиологии, СПИД-центр Краевой клинической больницы №2, Медицинский центр ДВФУ и др.

Исследования по обработке и анализу данных, построению баз знаний предметных областей ведутся по нескольким медицинским направлениям: туберкулез (ТБ), ВИЧ и СПИД, физиология и патология органов дыхания, кардиология и кардиохирургия, неврология и нейрохирургия, клиническая иммунология, планирование и оптимизация ресурсов здравоохранения, включая фармакотерапию. В этом докладе представлены некоторые результаты по отдельным направлениям проведенных исследований.

ТБ относится к одной из самых актуальных проблем современного общества и является индикатором его социально-экономического благополучия. Именно поэтому в последние годы особое внимание уделяется изучению взаимосвязей социально-экономических факторов и индикаторов активности эпидемического процесса ТБ. В исследованиях последних лет получены убедительные данные о все большем влиянии социально-экономических факторов на формирование неблагоприятной ситуации по ТБ. Ряд авторов отмечает, что диспропорции эпидемических показателей в различных регионах РФ связаны с уровнем их экономического развития, качеством отраслевого и государственного управления, а также с эффективностью использования ресурсов здравоохранения для реализации противотуберкулезных мероприятий. С 2010 г. заболеваемость и смертность от ТБ в РФ снижается на 5% в год, однако Россия продолжает относиться к странам с высоким бременем ТБ, а регионы Восточной Сибири и Дальнего Востока сопоставимы по этим показателям с африканскими и азиатскими странами. Распространение ТБ на этих территориях кратно превышает аналогичный показатель в европейской части РФ и это различие сохраняется более 100 лет. Исторические причины этого феномена пытались объяснить интервенцией ТБ в Сибирский и Дальневосточный регионы ссыльными, которые инфицировали микобактериями ТБ коренных жителей, до этого не имевшими контакта с данным возбудителем, что способствовало созданию на этих территориях устойчивого эпидемического очага ТБ. Вместе с тем, невозможно объяснить высокую распространенность ТБ только инфекционно-эпидемическими факторами, связанными с активностью возбудителя, его устойчивостью к лекарственной терапии, низким иммунным статусом больных и др. Важнейшую роль здесь играет социально-экономическая характеристика среды обитания человека. Тем более, что фтизиатрическая служба в РФ полностью находится на государственном обеспечении, а эффективность практического применения ее компетенций в определенной мере характеризует качество государственного управления в целом.

Для идентификации социально-экономических факторов, влияющих на эпидемическую ситуацию по ТБ в различных регионах РФ, и оценке степени этого влияния были разработаны многофакторные линейные регрессионные модели (ЛРМ) на основе панельной структуры данных (регионы РФ за период 2002-2016 гг.). Оценку степени влияния изучаемых факторов на эпидемический процесс выполняли с помощью метрики Пратта. Проведенное исследование показало, что разработка

математических моделей, описывающих зависимости эпидемического процесса ТБ от уровня социально-экономического развития региона, может иметь важное значение для принятия обоснованных решений, повышающих эффективность противотуберкулезных мероприятий. Преимуществом разработанных моделей является возможность количественной оценки влияния отдельных факторов или их комбинаций на ключевые показатели активности эпидемического процесса ТБ: заболеваемость и смертность.

Результаты исследования показали, что наибольшее воздействие на заболеваемость ТБ оказывают факторы, характеризующие условия проживания населения, совокупный вклад которых составлял около 38% (площадь жилья, приходящегося на 1 жителя, обустройство жилья водопроводом и канализацией, скученность проживания, в том числе в общежитиях, и удельный вес ветхого жилья), около 10% приходится на фактор, связанный с недостаточным потреблением животного белка. Ведущими социально-экономическими факторами, влияющими на смертность от ТБ, были дефицит площади жилья, высокий уровень потребления крепкого алкоголя, недостаточное потребление мясopодуктов и безработица. Наиболее существенным из них был дефицит площади жилья с долей влияния на смертность в 16,2%.

Несмотря на то, что в целом модель зависимости эпидемической ситуации по ТБ в РФ от социально-экономических факторов достаточно хорошо описывает взаимосвязи анализируемых показателей, нами была дополнительно изучена интенсивность этих отношений и их сопряженность с активностью эпидемического процесса в отдельных регионах. Для решения этой задачи методами кластеризации регионы РФ были стратифицированы по напряженности эпидемической ситуации.

Взаимосвязь дефицита площади жилья и заболеваемости возрастает по мере усиления напряженности эпидемической ситуации в регионах: от первого кластера к четвертому, а роль этого фактора варьирует от 17% до 79% соответственно. Скученность проживания студентов в общежитиях оказывает значительное влияние на заболеваемость, которое оценивается от 10% до 16% в различных кластерах. В то же время улучшение условий проживания за счет обеспечения жилья водопроводом позволяет значительно снизить заболеваемость ТБ, вклад этого показателя достигал 18,5%. Влияние потребления алкоголя на заболеваемость и смертность от ТБ было выявлено в 3-х кластерах. При этом его роль в эпидемическом процессе в различных кластерах варьировала от 0,5 до 2,6% по показателю заболеваемости и от 1% до 13,7% - по показателю смертности. Потребление в достаточном количестве белков животного происхождения ограничивает рост заболеваемости и смертности от ТБ. Влияние этого показателя на заболеваемость имело место только в первом кластере, а на смертность – во втором и третьем.

Таким образом, современные методы машинного обучения позволяют разрабатывать модели, с помощью которых возможно оценить в количественном выражении значение социально-экономических условий для эпидемического процесса ТБ в конкретном регионе. Дифференцированный подход к анализу этих взаимосвязей позволяет выявить наиболее важные факторы, влияющие на эпидемическую ситуацию в регионах, и конкретизировать мероприятия по ее улучшению.

Общее число ВИЧ-инфицированных на 1 июля 2018 г. в РФ составило около 1,3 млн. человек. Только за 2017 г. официально выявлено более 100 тыс. «новых» ВИЧ-инфицированных. По темпу роста заболеваемости РФ занимает 3 место после Нигерии и ЮАР. В 2017 г. умерло ВИЧ инфицированных около 32 тыс., в за первое полугодие 2018 г. - 18,5 тыс. Смертность от ВИЧ/СПИД составляет уже более 50% смертности от всех инфекционных и паразитарных заболеваний. Важно подчеркнуть, что каждый

второй пациент, зарегистрированный как умерший, от ВИЧ, умирает от прогрессирования ТБ на поздних стадиях ВИЧ.

Использование высокоактивной антивирусной терапии (ВААРТ) позволяет подавить репликацию вируса, снизить осложнения и смертность среди ВИЧ-инфицированных. Возможность адаптироваться ВИЧ к действию лекарств снижает эффективность проводимой терапии и ухудшает прогноз. Первичная резистентность ВИЧ регистрируется примерно у 20% пациентов, не получавших ВААРТ, а вторичная - почти у 50%. Именно, поэтому ранняя диагностика лекарственной устойчивости (ЛУ) является одной из важнейших клинических задач. Эталонным методом для определения ЛУ является диагностика мутаций резистентности путем секвенирования генома ВИЧ. Вместе с тем этот метод является относительно дорогим и не всегда реализуемым в повседневной клинической практике. Нами были разработаны и предложены для клиницистов модели на основе логистической регрессии (ЛР) и ИНС, которые в качестве предикторов использовали интерлейкин-16 (ИЛ-16), CD4+Т-лимфоциты и вирусная нагрузка ВИЧ, при сравнении с генетическим эталоном показали убедительный результат, востребованный в реальной практике (рис. 1).

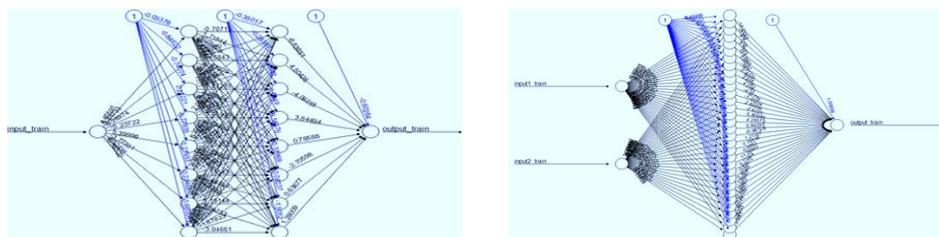


Рис. 1. ИНС для диагностики лекарственной устойчивости ВИЧ
а) вход: цитокин ИЛ-16; б) вход: CD4 и вирусная нагрузка

Точность построенных моделей, оцененная через относительную ошибку аппроксимации (ОАА), позволяет применять их в клинической практике, особенно на первых этапах лечения (табл. 1).

Дыхательные мышцы (ДМ) – ключевой элемент респираторной системы, обеспечивающей альвеолярную вентиляцию в соответствии с текущими потребностями организма.

Таблица 1

Сравнение точности моделей на основе ЛР и ИНС

Показатель точности моделей, %	Цитокин ИЛ-16		CD4 + вирусная нагрузка	
	ЛР	ИНС	ЛР	ИНС
ОАА, на всей выборке	5,9	4,3	8,5	1,5
Усредненная ОАА на обучающей выборке	7,7	4,1	9,3	0,92
Усредненная ОАА на тестовой выборке	3,9	1,3	8,6	0,31

Две основных группы ДМ - основной индикатор инспираторные и экспираторные. Сила ДМ - это основной индикатор их функционального состояния, а ее снижение - важнейший предиктор развития дисфункции ДМ. Исследование силы ДМ получает все большее распространение в клинической физиологии в качестве дополнительного

инструмента для комплексной оценки функционального состояния респираторной системы при различных заболеваниях органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, нейро-мышечной, церебро-вазкулярной патологии и др. Недостаточность ДМ, проявляющихся их утомлением или слабостью, является патогенетическим фактором развития или усугубления вентиляционных нарушений, артериальной гипоксемии и гиперкапнии. Точная информация о функциональном статусе моторного аппарата системы внешнего дыхания способствует своевременной диагностике его дисфункции и позволяет выбрать наиболее эффективные методы коррекции. Вместе с тем, корректный анализ результатов исследования физиологических функций человека возможен только на основе сопоставления фактических измеренных величин с должными. Классическим примером такого сопоставления являются должные величины показателей функции внешнего дыхания, степень отклонения от которых указывает на выраженность вентиляционных нарушений. Этот подход относится к рутинным стандартам функциональной диагностики и широко используется в клинической практике.

Определение должных величин силы ДМ связано с необходимостью ранней диагностики их дисфункции при многих патологических состояниях, в том числе, требующих неотложной респираторной поддержки. Как показали результаты анализа, ранее разработанные модели должных величин максимального инспираторного (MIP), максимального экспираторного (MEP) и интраназального (SNIP) давления имели высокий уровень ООА и не соответствовали рекомендованным стандартам точности, предъявляемым к регрессионным моделям в медико-биологических исследованиях. Высокий уровень вариативности силовых характеристик ДМ и показателя ООА объясняют небольшим количеством обследуемых, их различной расовой принадлежностью и непрозрачностью методик измерения. Повышение точности моделей было связано с включением в их состав предикторов, косвенно характеризующих массу скелетной мускулатуры (окружности предплечья и бедра), что позволило повысить точность отдельных расчетов в 1,5-1,9 раза по сравнению с моделями, разработанными другими исследователями.

Модели должных величин MEP, MIP и SNIP, построенные на основе нейронных сетей, существенно повышали их точность. Так, диапазон размаха ООА для мужчин соответствовал стандартам качества и составлял от 10,3% до 14,2%, у женщин ООА была несколько ниже (15,7% - 16,6%) рекомендуемого уровня. В сравнении с нейронными сетями линейные регрессионные модели демонстрировали недостаточную точность определения нормативных показателей. Модели расчета должных величин на основе ИНС имели сложную архитектуру, которая характеризовалась несколькими скрытыми слоями с различным числом нейронов (рис. 2). Точность моделей на основе ИНС соответствует допустимой точности в отличии от ранее разработанных ЛРМ (табл. 2).

Таким образом, использование нейронных сетей для моделирования должных величин силы ДМ позволяет стратифицировать пациентов по риску развития утомления или слабости ДМ, своевременно распознавать тяжесть их состояний, а также осуществлять необходимую коррекцию нарушенных функций.

При хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) в связи с прогрессирующим ремоделированием кондуктивного и респираторного отделов органов дыхания резистивная нагрузка на ДМ постоянно возрастает, что приводит к их гиперфункции, гипертрофии и последующей недостаточности. В этих случаях преобладает эффекторный механизм дисфункции. Вместе с тем, данный механизм не является единственным для больных ХОБЛ, особенно в старших возрастных группах, когда доминируют различные формы кардиоваскулярной, цереброваскулярной,

нейродегенеративной или метаболической коморбидности. В этих случаях утомление или слабость ДМ ассоциируются не только с перегрузкой мышечного аппарата, но и с дисрегуляцией центрального или транзмиттерного контуров управления респираторной «помпой», обеспечивающей легочную вентиляцию. Именно поэтому точная информация о функциональном статусе ДМ является необходимым условием для ранней диагностики его нарушений и своевременной коррекции.

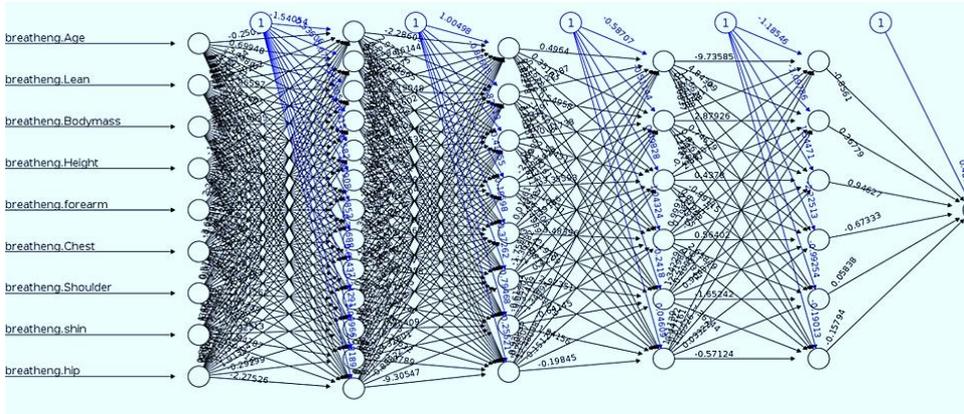


Рис. 2. Пример ИНС для должных величин силы инспираторных мышц

Таблица 2

Сравнение ЛРМ и ИНС для расчета должных величин силы ДМ

Показатели силы ДМ	Ранее разработанные ЛРМ, ошибка в %	Авторские ЛРМ, ошибка в %	ИНС, ошибка в %
МЕР мужчин	27,3	16,7	14,2
МЕР женщин	26,6	26,4	15,7
МIP мужчин	30,7	16,4	13,6
МIP женщин	26,8	25,6	16,5
SNIP мужчин	29,9	15,6	10,3
SNIP женщин	51	32,8	16,6

В современной классификации хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), которая занимает 4-ое место среди причин смертности населения, показатели силы ДМ не рассматриваются как индикаторы, характеризующие ее тяжесть, что побудило нас к оценке их информативности и возможности применения в качестве дополнительных критериев, повышающих точность стратификации больных по тяжести заболевания. Мы разработали и сравнили модели на основе ИНС с использованием различных предикторов: объемом форсированного выдоха за 1 сек. (ОФВ1), общей массы тела (ОМТ), максимального инспираторного давления в ротовой полости (МIP), парциального напряжения углекислого газа в артериальной крови (PaCO₂) (рис. 3). В качестве эталона использовали диагнозы, выставленные

экспертами-пульмонологами. Полученные результаты показали высокую точность моделей и целесообразность их применения в клинической практике, в том числе в проектах телемедицины (табл. 3). Была также показана информативная значимость силы дыхательных мышц как предиктора для стратификации степени тяжести ХОБЛ.

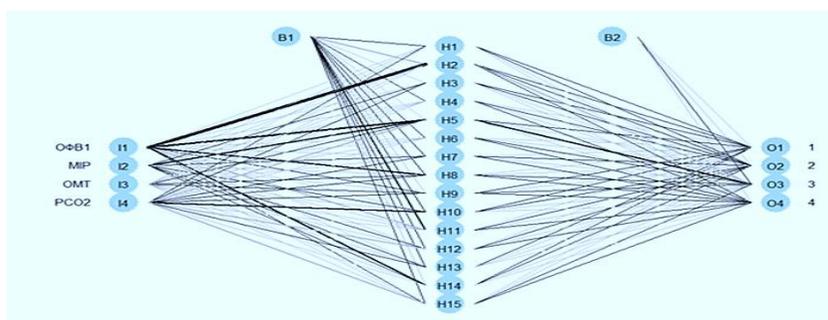


Рис. 3. ИНС для определения стадии ХОБЛ

Таблица 3

Сравнение результатов диагностики тяжести ХОБЛ экспертами-пульмонологами и на основе ИНС

Предикторы модели на основе ИНС	Ошибка ИНС, %
ОФВ1	30
ОФВ1 + МІР	20
ОФВ1 + ОМТ	18,8
ОФВ1 + ОМТ + МІР	6
ОФВ1 + ОМТ + МІР + РасО2	0

Аналогичные результаты были получены при использовании логистических регрессионных моделей для дифференциальной диагностики бронхиальной астмы (БА) и ХОБЛ, здоровых и больных с обструкцией дыхательных путей, где в качестве предикторов использовали индикаторы силы ДМ: отношение максимального экспираторного давления в ротовой полости (МЕР) к МІР (табл. 4). Эти предикторы имели большую значимость, чем традиционное отношение ОФВ1 к форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ).

Стремительное увеличение объемов биомедицинской информации, а также исследований, связанных с ее обработкой и анализом, тесно ассоциируется с развитием персонализированной медицины. В то же время для ее совершенствования необходимы современные технологии хранения, обработки, анализа и верификации первичных данных, результатов их обработки, медицинских баз знаний. Проводимое нами исследование направлено на создание хранилища биомедицинских данных и знаний из различных областей клинической, экспериментальной и популяционной медицины. Архитектурной особенностью хранилища является интеграция первичных клинических и статистических данных, результатов их обработки и анализа, объединение последних с известными медицинскими знаниями по диагностике и лечению заболеваний и использование их для развития персонализированных трендов в клинической медицине. Гетерогенное хранилище имеет компонентную распределенную архитектуру и объединяет информационные и программные

элементы. К первым относятся: первичные данные, онтологии и базы знаний, ко вторым - системные, специализированные и прикладные компоненты.

Таблица 4

ЛР-модели для дифференциальной диагностики БА и ХОБЛ

Группы	Параметр логистической регрессии	AIC	AUC
Здоровые / Больные	$z = 0,32 * \text{ОФВ1/ФЖЕЛ} - 25,7$	60,5	0,98
	$z = 0,39 * \text{ОФВ1/ФЖЕЛ} + 6 \text{ МЕР/МІР} - 39,3$	45,5	0,99
БА / ХОБЛ	$z = 0,08 * \text{ОФВ1/ФЖЕЛ} - 5,8$	93,5	0,78
	$z = -9,5 * \text{МЕР/МІР} + 11,5$	77,4	0,84
ХОБЛ / ХОБЛ + БА	$z = -2,5 * \text{МЕР/МІР} + 3,3$	128,2	0,68

Представленные в настоящей работе данные демонстрируют возможности применения методов ИИ, в том числе машинного обучения, ИНС, инженерии знаний и интеллектуальных информационных систем для создания условий развития персонализированной диагностики и лечения, получения новых знаний в области физиологии, общественного здравоохранения и клинической медицины.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-03131.

Б.Г. Андрюков¹, Н.Н. Беседнова², Т.С. Запорожец³
Биологическая безопасность как основа устойчивого развития Дальнего Востока Российской Федерации

Введение

Фундаментальные открытия в химии и медико-биологических науках во второй половине XX в. привели к смене парадигм и приоритетов, появлению и бурному развитию молекулярных исследований в биологии, микробиологии и медицине. Эти преобразования открыли новые возможности в изучении основ жизнедеятельности человеческого организма, вмешательства и изменения его генома. В результате биологическая опасность, угроза которой носила гипотетическую вероятность, становится реальностью и приобретает национальный масштаб, затрагивая широкий

¹ Руководитель лаборатории НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова, доктор медицинских наук

² Главный научный сотрудник НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова, академик РАН

³ Заместитель директора НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова по научной работе, доктор медицинских наук

круг вопросов, в том числе основы устойчивого экономического развития государства и, в частности, российского Дальнего Востока [3, 4].

В начале XXI в. проблема национальной и региональной биологической опасности определяется несколькими объективными условиями и причинами, которые в общем виде можно сгруппировать по трем направлениям: инфекционные заболевания, генетически модифицированные продукты и наличие в мире биологического оружия, созданного на основе современных достижений молекулярной микробиологии и геной инженерии, и связанная с ним угроза биотерроризма (рис. 1).



Рис. 1. Объективные условия и причины биологической опасности территорий России и ее Дальневосточного региона

Актуальность обсуждения проблемы биобезопасности Дальневосточного региона Российской Федерации в современных условиях определяется:

- особой ролью российского Дальнего Востока, защита которого является не только экономической, но и стратегической задачей обеспечения национальной безопасности страны;

- возрастанием угрозы биологического терроризма и геной войн;

- разработкой биологического оружия нового, третьего, поколения;

- ростом значимости для биобезопасности технологий двойного назначения;

- формированием устойчивой тенденции к появлению новых и возвращающихся инфекций;

- выделением биологической безопасности в отдельную специальность в перечне ВАК;

- эволюцией взглядов на проблему и формированием расширенной парадигмы биобезопасности;

- необходимостью совершенствования мер предупреждения и контроля в отношении чрезвычайных ситуаций биологического характера, масштаб последствий которых сопоставим с угрозой национальной и международной безопасности [1, 3, 5].

В период обострения межгосударственных отношений, необходимость иных подходов к повышению уровня биобезопасности, оценки рисков воздействия на здоровье населения Дальневосточных территорий следует рассматривать в качестве приоритетного элемента национальной безопасности страны и необходимого условия ее устойчивого развития.

В настоящее время в стране в основном сформированы законодательная, правовая и нормативно-методическая базы, регулирующие деятельность в области биологической безопасности. При этом особо важное значение придается деятельности Роспотребнадзора (РПН) и Россельхознадзора (РСХН) по выявлению и экспертизе рисков, ликвидации и предупреждению распространения болезней населения региона, животных и растений [4, 6].

Основные направления экспертизы рисков, связанных с воздействием биологических факторов на здоровье населения в масштабе государственной безопасности России, изложены в Федеральной целевой программе «Национальная система химической и биологической безопасности РФ (2015–2020 гг.)». Целью этой программы является укрепление и развитие национальной системы химической и биологической безопасности РФ для последовательного снижения до приемлемого уровня риска воздействия опасных факторов на население и окружающую среду. Среди приоритетных территорий выделен Дальневосточный регион [3, 5], важность которого особо отмечена в утвержденных в 2013 г. президентом РФ «Основах государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу» и в проекте внесенного в Государственную Думу Федерального Закона РФ «О биологической безопасности» [5].

Настоящая работа была проделана в рамках реализации Комплексной программы фундаментальных исследований «Дальний Восток», принятой Дальневосточным отделением российской академии наук (ДВО РАН) на 2018–2020 гг. Она стала частью глобального плана последовательного снижения воздействия опасных биологических факторов на здоровье населения Дальневосточного федерального округа (ДФО) и окружающую среду до приемлемого уровня риска биобезопасности.

В этой связи большой интерес представляют результаты мониторингового изучения эпидемиологии и санитарного состояния, фитосанитарной и эпизоотической ситуации территориальных Управлений РПН и РСХН субъектов ДФО, количественные показатели которых за 2014–2018 гг. были использованы при выполнении настоящего исследования.

Биологическая безопасность: угрозы, вызовы и тенденции

Анализ политических тенденций, наблюдающихся в последние годы в контексте биобезопасности, позволяет выявить ряд трендов. Среди них – существенное и грандиозное по своим последствиям сокращение международного экономического сотрудничества, и возврат к периоду глобальной геополитической конфронтации, и болезненное разрушение однополярного мира, пересмотр существующих транснациональных договоров. Примечательно, что центром этих событий и тенденций является Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), со странами которого непосредственно граничит Дальневосточный Федеральный округ (ДФО) России, являющийся форпостом страны в этом важнейшем мировом центре [1].

В создавшемся положении на фоне складывающейся за последние годы тенденции ограничения доступа России к передовым современным биомедицинским технологиям, появляется реальная угроза серьезного отставания в развитии отечественной молекулярной биологии и геномной инженерии. С развитием этих и

других фундаментальных наук связываются современные успехи индустриально развитых стран в вопросах обеспечения биобезопасности и профилактики существующих угроз при возникновении эндемических вспышек инфекций или ликвидации последствий биотеррористической атаки [1, 6, 9, 11].

События, происходящие в международной политике в последние годы, не позволяют надеяться на возможность международного сотрудничества в области внедрения новых технологий и обеспечения глобальной биобезопасности. В первую очередь это касается создания контроля развития биотехнологий двойного назначения, создания современных вакцин против эмерджентных инфекций и терапевтических средств нового поколения [6, 7, 10].

Кризис отечественной фундаментальной науки, наступивший после распада СССР, и последующие российские экономические и политические реформы, привели к существенному отставанию страны в молекулярной биологии и генетике, лежащих в основе не только создания биологического оружия третьего поколения, но и современных медицинских биотехнологий.

За этот же период мировая фармакологическая индустрия экономически развитых стран совершила гигантский скачок в области создания современных противовирусных вакцин, полученных путем секвенирования генов основных антигенов и их синтетического производства с использованием технологии рекомбинантных ДНК. Наконец, уже сегодня ведутся исследования по созданию вакцин третьего поколения, известных как генетические (РНК-, ДНК-, плазмидные вакцины). Современные достижения в области химии и биомедицинских технологий привели к производству высокоэффективных пептидов, обладающих антибактериальной, противоопухолевой, иммуномодулирующей активностью, новейших средств их целевой доставки, а также методов их эффективного внедрения в здравоохранение, ветеринарию, пищевую индустрию, экологию и другие сферы жизнедеятельности человека [4, 6, 8, 13].

Современные успехи в развитии биотехнологий все чаще рассматриваются как потенциальные и перспективные инструменты инновационного развития в странах всего мира и, в частности, АТР. Однако быстрое и широкое использование достижений молекулярной биологии таит в себе угрозу биологической опасности, связанной с отсутствием мирового опыта и системы оценки рисков, разработанных на основе современных научных исследований. Особенно это относится к проблеме так называемых, эмерджентных инфекций [1, 3, 6, 14].

Несмотря на очевидные успехи в диагностике, лечении и специфической профилактике заболеваний, в XXI столетии сформировалась устойчивая тенденция к появлению новых и возвращающихся (эмерджентных) инфекционных болезней. В связи с глобализацией процессов, происходящих в мире, эти заболевания превратились в проблему международного масштаба, создающую угрозу не только здоровью, но и социально-экономической стабильности общества, а список нозологий, которые можно отнести к этой группе, постоянно пополняется. ВИЧ-инфекция, тяжелый острый респираторный синдром (SARS), ближневосточный респираторный синдром (MERS), гемолитико-уремическая инфекция, вызванная *E. coli* O104:H4, появление высокопатогенного вируса птичьего гриппа (H5N1) и оспы обезьян – лишь некоторые из примеров новых инфекционных заболеваний, каждое из которых привело к глобальным последствиям в обществе, связанным с массовой заболеваемостью и значительными человеческими жертвами [10, 14, 15]. Ареалы происхождения большинства из них находятся на территориях стран АТР, непосредственно граничащих с Дальневосточным регионом РФ.

Появление эмерджентных патологий, неожиданный рост заболеваемости или формирование тенденции к расширению нозоареалов давно известных инфекций

потребовал эволюции наших представлений о механизмах возникновения природно-очаговых заболеваний и возможной связи их происхождения с преднамеренным использованием их возбудителей в качестве агентов биологического оружия [3, 7, 9, 13].

Три поколения биологического оружия

Традиционно в последние десятилетия стратегия защиты от биологического оружия акцентировалась на патогенах, входящих в группу возбудителей особо-опасных инфекций, а также на известных бактериальных и растительных токсинах. Однако, благодаря развитию биотехнологий и генной инженерии, за последние 40 лет произошла смена поколений потенциально опасных биологических агентов, средств их доставки и самой концепции биологической войны.

На смену традиционным бактериям и вирусам природного происхождения, пик активности изучения которых в качестве компонентов биологического оружия пришелся на среднюю треть XX века (возбудители холеры, чумы, сибирской язвы, натуральной оспы, геморрагических лихорадок, а также токсинов), пришло новое поколение агентов – генетически модифицированных возбудителей – продуктов молекулярной биологии, активно разрабатываемых в 80–90-х гг. прошлого века. С появлением технологии рекомбинантных ДНК были разработаны методы изменения генома микроорганизмов для усиления патогенных свойств бактерий и вирусов. Это привело к созданию новой категории генетически модифицированных агентов биологического оружия. Результатами трансформации генома потенциальных патогенов стали их повышенная устойчивость к антимикробным препаратам, высокая стабильность рецептур и измененные биологические свойства [4, 6, 7, 11].

Немаловажно, что рекомбинантные формы возбудителей инфекций могут иметь иные антигенные детерминанты (эпитопы), лежащие в основе их идентификации и лабораторной диагностики, что потребовало изменений всей стратегии биодетекции потенциальных биологических агентов – использования как традиционных молекулярно-генетических и иммуноферментных методов, так и новейших аналитических технологий (раман- и инфракрасной спектроскопии, ядерно-магнитного и плазмонного резонанса и других) [13, 15].

Новая смена поколения биологического оружия произошла на рубеже XX и XXI вв. и была связана с научными достижениями в области изучения и расшифровки генома человека. Эти исследования, имеющие целью раскрытие молекулярной природы целого ряда социально-значимых заболеваний человека, безусловно, имеют глобальное значение для медицины, но одновременно они реализовали свой большой потенциал для создания совершенно нового класса полностью синтезированных агентов с заранее заданными биологическими свойствами [1, 4, 5].

Современные биотехнологии привели к смене парадигмы биологического оружия (Advanced Biological Warfare, ABW), которое теперь может быть избирательно направлено против определенной категории населения, или нацелено на конкретные биологические функции или системы человеческого организма (сердечно-сосудистую, иммунную, нервную и пищеварительную, репродуктивную и другие) [3, 4]. Таким образом, в основе современных молекулярных трендов, использующих системные модели на основе новейших достижений геномной и протеомной биологии, лежит отход от традиционной концепции биологической войны, которая направлена на воздействие на весь организм [6].

В последние годы наметилась тревожная тенденция открытия на территории бывших советских республик сети бактериологических институтов, депозитариев штаммов опасных микроорганизмов и научных молекулярно-генетических лабораторий на средства Пентагона. Это вызывает озабоченность не только в России,

но и периодически возникающие протесты у населения этих стран. В период 2005–2016 гг. под видом различных соглашений и договоров американские специалисты-микробиологи создали ныне активно действующие бактериологические лаборатории в Одессе, Днепропетровске, Львове, Виннице, Тернополе, Ужгороде, Киеве и Херсоне. В течение последних 5–10 лет США планомерно и тенденциозно окружают подобными молекулярно-микробиологическими лабораториями Россию по южной границе, создавая их за немалые деньги в Грузии (22 лаборатории), Казахстане, Узбекистане, Азербайджане, Киргизии (рис. 2).



Рис. 2. Биологическое оружие США у границ России

Все эти научно-исследовательские учреждения находятся под руководством представителей спецслужб США, выведены из-под государственного контроля и имеют закрытый доступ. Основная задача их деятельности связана с созданием биологических агентов и их использованием с целью дестабилизации экономики и политической ситуации в Российской Федерации. С деятельностью этих лабораторий связывают эпидемии инфекций людей и животных в этих странах в 2013, 2015 и 2016 гг., эпидемия гриппа в 2017 г. Эксперты полагают, что на территорию России вирусы африканской чумы свиней, атипичной пневмонии, вирус Зика попали с закрытых баз по производству биологического оружия на Украине, в Грузии и Казахстане [1, 3, 5].

Если добавить в этот перечень 5 военных институтов микробиологии на севере Китая и бактериологическую лабораторию в Республике Корея, то становятся понятными опасения по поводу национальной биологической безопасности России и ее дальневосточных территорий, тесно связанных со странами АТР.

Дальневосточный регион РФ и страны АТР: геополитические и эпидемиологические аспекты

В настоящее время стратегическое значение Дальнего Востока для России многократно возрастает в связи с происходящими в XXI в. на Азиатском континенте экономическими, демографическими и политическими процессами. АТР уверенно

становится важнейшим геополитическим центром и одним из главных регионов, влияющих на мировую политику и экономику.

За последние несколько лет в политической и экономической жизни Дальневосточного региона страны произошел ряд положительных качественных изменений. В условиях четко обозначенного Азиатского вектора российских интересов Дальневосточный регион страны в целом стал резидентом внешнеэкономического и культурного сотрудничества со странами АТР.

Экономическое и социальное развитие субъектов ДФО в настоящее время вновь становится актуальной проблемой. В условиях глобальных вызовов и угроз, с которыми столкнулась Россия, поддержка уровня биологической безопасности Дальневосточного региона является важной уже не только экономической, но и стратегической задачей обеспечения национальной безопасности страны.

АТР в наши дни – это более 50 государств и более 3,5 миллиардов населения, наиболее быстро и динамически развивающийся регион мира. Соотношение экономической мощи основных центров мировой экономики заметно смещается в пользу Азиатского континента [1].

В последние десятилетия наметилась тенденция превращения Китая в одну из наиболее мощных в экономическом отношении стран мира. За этот же период существенно увеличились демографический и экономический потенциалы Республики Кореи и практически всех других стран Юго-Восточной Азии.

Проблемы региона в течение многих лет связаны с экологией, урбанизацией, стремительным ростом и активной миграцией населения и в том числе в связи с туристическими поездками, что создает благоприятные условия для стремительного распространения инфекций.

Развитие туризма является мировой тенденцией. Ежегодно число туристов увеличивается приблизительно на 6% в год. К 2020 г. их количество в мире составит около 1 млрд. 600 млн. человек. В связи с дальнейшим развитием внешнеэкономических, торговых и культурных связей российского Дальнего Востока со странами Азиатского континента все большее число туристов, предпринимателей, ученых, преподавателей, студентов посещают эти страны, а на территорию Дальневосточного округа приезжают граждане из азиатских стран.

С 2014 г. в регионе сформировалась устойчивая тенденция роста численности туристов, посетивших ДФО, в том числе зарубежных. Ежегодно более 70% из них посещают Приморский край. По данным Приморских отдела статистики и департамента туризма в Приморский край с 2014 по 2018 гг. въехало около 2,5 млн иностранцев с различными целями: туризм, деловая и частная поездки, транзитный проезд и переезд на постоянное место жительства, работа в качестве обслуживающего персонала. Из них более 98% составили граждане стран Юго-Восточной Азии. Странам этого же региона традиционно отдают предпочтение и туристы из числа российских граждан – жителей ДФО, выезжавших за границу (табл. 1).

С одной стороны, сформировавшуюся тенденцию активизации туризма на Дальнем Востоке следует приветствовать: рост доходов является одной из стратегических задач страны. Только в Приморье прибыль от туристической индустрии края в прошлом году превысила один миллиард рублей. Однако, несмотря на принимаемые заградительные и профилактические меры, эффективные методы индикации и терапии инфекционных заболеваний, в странах, принимающих зарубежных туристов и своих граждан, возвращающихся из-за границы, сохраняется угроза заноса на свою территорию бактерий и вирусов, потенциально являющихся источником инфекций. Это особенно актуально для стран Юго-Восточной Азии с нестабильной санитарно-эпидемиологической ситуацией. При посещении других стран, туристы оказываются

в непривычных для себя климатических условиях, национальной кухни, местных нравов и обычаев, что увеличивает риск заражения инфекционными заболеваниями и служит предпосылкой возникновения эпидемий [3, 4, 5, 6].

Таблица 1

Международного туризма в ДФО (2014–2018 гг.)

Страны	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г. (I полугодие)
Выехало за рубеж туристов из ДФО					
Всего, в том числе	888682	673439	797828	660771	432523
Страны АТР	871564	669671	789219	643435	419367
Китай	746184	473507	587885	473523	292658
Южная Корея	82801	111729	120663	111728	74749
Таиланд	24682	15520	18861	39466	24861
Япония	24174	21223	21138	24125	15717
Вьетнам	4642	14101	12559	13935	8142
Въехало зарубежных туристов на территорию ДФО					
Всего туристов	~2130000	~2710000	~3450000	~4120000	~2180000
Зарубежных, в т.ч.	447200	465499	568200	643200	316500
Китай	288400	321200	358300	422000	189900
Южная Корея	19300	29200	48200	107100	71055
Япония	8740	10250	12700	18400	5065
Филиппины	25050	26100	28300	34500	16300

Анализ данных Роспотребнадзора РФ по Юго-Восточной Азии показал, что страны этого региона значительно отличаются между собой по уровню эпидемиологической опасности, инфекционной заболеваемости и смертности населения. Относительно стабилен уровень инфекционной заболеваемости в Сингапуре, Австралии и Японии. Эпидемиологическую опасность представляет посещение Вьетнама, Таиланда, Камбоджи, Китая, Индии, Индонезии, Монголии и ряда других стран региона. В этих же государствах зарегистрированы наиболее высокие уровни смертности от инфекционных заболеваний. Поэтому завоз инфекции из этих стран может привести к ухудшению эпидемиологической и эпизоотической ситуаций в Дальневосточном регионе.

Мониторинг эпизоотической ситуации в странах Юго-Восточной Азии является важной задачей, в связи с тем, что этот регион является потенциальным источником многих эндемичных инфекционных заболеваний животных. Согласно аналитическим данным Управлений Россельхознадзора ДФО эпизоотическая ситуация среди сельскохозяйственных животных в странах АТР по отдельным инфекциям в последние годы продолжает оставаться напряженной. Так, Азиатский континент является регионом повышенной опасности по ящуру. Для стран Азии наибольшую обеспокоенность вызывает появление высокопатогенного панasiatского штамма (PanAsia) вируса ящура серотипа О, который распространился из Индии на восток, север и запад, вызвав недавние эпидемии в ряде стран региона.

Заболеваемость гриппом диких и домашних птиц на сегодняшний день остается глобальной проблемой для многих регионов мира. Однако ситуация в Юго-Восточной Азии вызывает самое большое беспокойство в связи с появлением высоко

контагиозного штамма вируса серотипа H5N1, который в 2015–2018 гг. был официально зарегистрирован во Вьетнаме, Южной Корее, Японии, Таиланде, Китае, где были зафиксированы десятки вспышек этой инфекции. Особую озабоченность эпидемиологов вызывают сообщения о продолжающейся мутации этого вируса.

Из эндемических заболеваний на сегодняшний день большую опасность, как для людей, так и для животных, представляет японский энцефалит, который широко распространен в Азиатском регионе (Япония, Китай, Вьетнам). Только в июле 2016 г. в странах АТР было зарегистрировано 2314 случаев заболевания эпидемическим японским энцефалитом, в результате которого погибли 78 человек.

При рассмотрении потенциальных угроз заноса особо опасных заболеваний на территорию РФ из стран АТР следует учитывать, что Австралия на сегодняшний день является крупнейшим в мире поставщиком мяса и живых животных, а регион Восточной, Юго-Восточной Азии и Океании является родиной для огромного количества видов пернатых, которые после зимовок беспрепятственно разносят вирус гриппа птиц по всем странам мира.

Рассматривая проблему биобезопасности Дальневосточного региона как составной части национальной безопасности РФ в рамках эпизоотического и эпидемиологического мониторинга, безусловно, необходимо учитывать возможность преднамеренного трансграничного заноса на территории страны возбудителей новых и генетически модифицированных известных инфекционных агентов.

Еще в 2004 г. на одном из заседаний Комитета военного планирования НАТО рассматривался вопрос о возможности использования террористами в качестве биологического оружия продуктов «грязных» биотехнологий на основе современных достижений молекулярной микробиологии. Основное внимание было уделено генно-модифицированным организмам (ГМО), в ДНК которых путем биоинженерных манипуляций могут быть встроены возбудители опасных инфекций. Не случайно среди наиболее распространенных способов внедрения чужеродных генов в организм-хозяин рассматриваются агробактерии [4, 11].

Применение генно-модифицированных организмов в странах АТР

Современные биотехнологии широко используются для решения проблем человека, связанных с его здоровьем, повышения качества жизни, играют значительную роль в борьбе с загрязнением окружающей среды. В наши дни с помощью использования сельскохозяйственных биотехнологий ученые пытаются решить проблему недоедания населения некоторых континентов мира, имея цель добиться стабильного повышения урожайности на скудных почвах или в неблагоприятных климатических условиях, снизив при этом потребление воды и химических удобрений путем использования ГМО, производства трансгенных продуктов (ГМ-продуктов) и выращивания генно-модифицированных агрокультур (ГМ-культуры). Объективными причинами этого процесса являются развитие молекулярной биологии и генной инженерии, удорожание сельскохозяйственного производства, рост численности населения, что в большинстве стран Азиатского континента сочетается с большой нагрузкой агропромышленной отрасли, истощением земельного фонда. Это вынуждает сельхозпроизводителей в странах АТР применять технологии молекулярной селекции при выращивании риса, овощей и кормовых культур, а также при разведении рыб (Канада и Таиланд) в обход международных договоренностей (Картахенский протокол, 2000 г.) применять ГМО, что вызывает угрозу биобезопасности населения Дальневосточных территорий РФ, являющихся активными потребителями сельхозпродукции, выращенной в соседних странах, в том числе в период туристических поездок (табл. 2).

Основная причина распространения ГМО в странах АТР изложена в словах китайского академика Юань Лунь Пина (2016 г.): «Если мы не ускорим освоение технологий молекулярной селекции, то в ближайшие 5-10 лет мы не накормим население и отстанем от международного уровня в области семеноводства гибридного риса» [цит. по 12]. Под этим лозунгом в странах Юго-восточной Азии сегодня производится и продается не только сельхозпродукция, но и ГМ рыба, детское питание, которые разными путями оказываются у нас на столе, создавая дополнительную угрозу региональной безопасности [4, 11, 13].

Таблица 2

Выращивание и импорт трансгенных продуктов и агрокультур в странах АТР (2017 г.)

Страны	Ситуация с выращиванием и импортом ГМ-продуктов
США	Запрещены только в трех округах Калифорнии. Избирателям в других округах и штатах страны установить аналогичные меры не удалось.
Австралия	Несколько австралийских штатов запретили ГМ-культуры, но большинство из них с тех пор сняли эти запреты. ГМ-культуры разрешены в качестве кормов с/х животных.
Китай	В мае 2015 года китайский премьер-министр и министр сельского хозяйства дали высокую оценку ГМ-продуктам и заявили о необходимости исследовать и внедрять технологии ГМО. ГМ-культуры разрешены в качестве кормов с/х животных.
Япония	Запрещено выращивание ГМ-культур и ГМ семена не высаживают в стране, но закупают ГМ рапс из Канады.
Южная Корея	Став на второе место в мире по импорту сельскохозяйственных ГМ-культур, запрещает их выращивание на своей территории.
Таиланд	Выращивает трансгенную папайю. Декларирует запрет на ГМ-агрокультуры, но в овощах, фруктах, чипсах, кашах, рыбе (тунец), детском питании обнаружены ГМО.
Индия	Разрешено выращивать ГМ хлопок (Monsanto), технические культуры
Канада	С 2016 г. разрешены выращивание и продажа ГМ-лосося

Современная наука рассматривает ГМО как организмы, безопасность которых для здоровья человека не доказана, в связи с чем это требует особого подхода в применении и принятии специальных норм, регулирующих их допуск к выращиванию. Одна из главных причин опасности ГМО заключается в несовершенстве биотехнологий получения трансгенных организмов [13]. Среди возможных неблагоприятных последствий применения ГМ-технологий рассматриваются их влияние на природное биоразнообразие видов, риск появления сорняков, устойчивых к гербицидам, воздействие на другие агрокультуры [10, 15].

Активные обсуждения учеными, политиками, экономистами все эти годы на различных уровнях о пользе и вреде ГМ-продуктов у нас в стране завершилось принятием в 2016 г. Федерального закона, который запрещает ввоз на территорию РФ и использование семян растений с модифицированной генетической программой и содержащих генно-инженерный материал, внесение которого не может являться результатом природных процессов.

Обеспечение биологической безопасности Дальневосточного региона РФ: перспективные направления

Правительство страны озабочено проблемой биобезопасности населения страны в целом и ее дальневосточных территорий в частности.

В ДФО академическим институтом, ведущим такие исследования, является Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова, основная миссия которого – формирование научно-технического задела в области эпидемиологии, медицинской и молекулярной микробиологии, инфекционной патологии и иммунологии, обеспечивающих, в конечном счете, биологическую безопасность и защиту от угроз опасных инфекционных болезней в ДФО. В рамках выполнения научно-исследовательских работ в институте проводятся исследования молекулярно-биологических основ патогенности и адаптивной изменчивости вирусов и бактерий, механизмов персистенции и аттенуации возбудителей и формирования иммунного ответа, разрабатываются технологии эпидемиологического, микробиологического и молекулярно-генетического мониторинга за возбудителями инфекционных болезней, создаются средства и методы управления функциями врожденного иммунитета для иммунопрофилактики и иммунотерапии бактериальных и вирусных инфекций, предупреждения и ликвидации последствий биотерроризма и инфекций, вызываемых неизвестными патогенами [2].

В 2017 г. в ДВО РАН была разработана и принята Комплексная программа фундаментальных исследований «Дальний Восток» на 2018–2020 гг., одна из подпрограмм которой, «Фундаментальные основы обеспечения безопасности и устойчивого развития Тихоокеанской России» напрямую связана с вопросами продовольственной, химической и биологической безопасности.

В развитие основных положений этой Программы в 2017 г. в Школе биомедицины Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) открылся Международный научно-исследовательский центр (МНИЦ) по изучению проблем биологической безопасности и санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Основной задачей центра является диагностика вирусных и бактериальных инфекционных заболеваний человека, растений и животных. МНИЦ позволит на регулярной основе обучать и повышать квалификацию медицинских работников, эпидемиологов, вирусологов, бактериологов и других специалистов Приморского края и стран Юго-Восточной Азии. Кроме того, современное оборудование для проведения молекулярно-биологических исследований Центра, будет использоваться в процессе обучения студентов. В 2018 г. в ДВФУ открылся центр молекулярных технологий по обучению специалистов по лабораторной диагностике из стран Азии. Эти проекты осуществлены совместно с Роспотребнадзором РФ.

В 2017 г. в соответствии с Постановлением Правительства РФ во Владивостоке открылся Дальневосточный филиал Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины (ДФ ГНИИИ ВМ) Минобороны России, основными целями создания которого является организация и обеспечение научных исследований в интересах обороны и безопасности страны и, в первую очередь, Дальневосточных территорий РФ, разработка и испытания медицинских средств индивидуальной и коллективной защиты и медицинских технических средств. Создание Филиала напрямую связано с повышением стратегического значения Дальневосточного региона и внимания Правительства РФ к вопросам национальной и региональной безопасности.

В конце 2017 г. сотрудниками Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии (НИИЭМ) имени Г.П. Сомова, ДВФУ, Медицинского центра ДВО РАН и ДВ ГНИИИ ВМ было выпущено практическое руководство «Биологическое оружие и глобальная система биологической безопасности». Это первое в стране издание с подобной тематикой учебно-практической направленности. В 2018 г. данное руководство было представлено на

заседании Межведомственной рабочей группы Минздрава России по вопросам химической и биобезопасности в качестве базового издания для дополнительного профобразования специалистов медико-биологического профиля.

Повышение уровня биологической безопасности и защиты от угроз опасных инфекционных болезней в ДФО может быть достигнуто, в числе прочего, путем формирования региональных программ фундаментальных и прикладных исследований по актуальным проблемам эпидемиологии, медицинской микробиологии, генетики и молекулярной биологии бактерий.

Заключение

Угрожающие вызовы современного мира базируются на новейших разработках молекулярной биологии и современных биотехнологий. Попытки преднамеренного использования инновационных достижений этих наук во вред обществу, как и пути непредсказуемого развития биологических войн и их последствий для человечества непредсказуемы. Поэтому биологическая безопасность должна стать одной из приоритетных задач РФ и основой для устойчивого развития ее дальневосточных территорий. Для ее обеспечения необходимо поддерживать высокий уровень молекулярной биологии, как и других фундаментальных наук. Непонимание этого является непосредственной угрозой национальной безопасности России, а без передовой науки мы обречены на отставание, деградацию как нации и постепенное вымирание.

Литература

1. *Завриев С.К., Колесников А.В.* Риски и угрозы в сфере безопасности: анализ проблем и поиск решений в современных условиях // *Мировая экономика и международные отношения.* 2015. № 9. С. 57-68.
2. *Запорожец Т.С., Беседнова Н.Н.* Фундаментальные и прикладные исследования НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова в обеспечении противодействия биологической опасности в Дальневосточном регионе // *Здоровье. Медицинская экология. Наука.* 2017. № 3(70). С. 7-11.
3. *Онищенко Г.Г., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Топорков В.П., Топорков А.В., Ляпин М.Н., Кутырев В.В.* Актуальные проблемы биологической безопасности в современных условиях. Часть 2. Понятийная, терминологическая и определительная база биологической безопасности // *Вестник РАМН.* 2013. № 11. С. 4-11.
4. *Онищенко Г.Г., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Топорков В.П., Топорков А.В., Ляпин М.Н., Кутырев В.В.* Актуальные проблемы биологической безопасности в современных условиях. Часть 3. Научное обеспечение национального нормирования широкого формата биологической безопасности // *Вестник РАМН.* 2014. № 11-12. С. 118-127.
5. Основы государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу (утв. Президентом РФ 01.11.2013 № Пр-2573).
6. *Сбойчаков В.Б.* Биологическая безопасность генно-модифицированных продуктов // В сб.: *Наука и образование в жизни современного общества сборник научных статей, посвященный памяти проф. М.В. Иванова.* ЛГУ, Лужский институт (филиал). 2015. С. 95-100.
7. *Bloom D.E., Black S., Rappuoli R.* Emerging infectious diseases: a proactive approach. *Proc Natl Acad Sci US A.* 2017; 114 (16): 4055-4059.
8. *Chan J.H., Law C.K., Hamblion E., Fung H., Rudge J.* Best practices to prevent transmission and control outbreaks of hand, foot, and mouth disease in childcare facilities: a systematic review. *Hong Kong Med J.* 2017; 23(2):177-190.
9. *Khan J., Khan I., Ghaffar A., Khalid B.* Epidemiological trends and risk factors associated with dengue disease in Pakistan (1980–2014): a systematic literature search and analysis. *BMC Public Health.* 2018; 18:745.

10. *Laxminarayan R., Kakkar M., Horby P., Malavige G.N., Basnyat B.* Emerging and re-emerging infectious disease threats in South Asia: status, vulnerability, preparedness, and outlook. *BMJ* 2017; 357: j1447.
11. *Liu Q., Xu W., Lu S., Jiang J., Zhou J., Shao Z., Liu X., Xu L., Xiong Y., Zheng H.* Landscape of emerging and re-emerging infectious diseases in China: impact of ecology, climate, and behavior. *Front Med.* 2018; 12(1): 3-22.
12. *Mukherjee Sh.* Emerging Infectious Diseases: Epidemiological Perspective. *Indian J Dermatol.* 2017; 62(5): 459–467. doi: 10.4103/ijd.IJD_379_17.
13. *Wee Khoo Ng., Sunny H.W., Siew C.Ng.* Changing epidemiological trends of inflammatory bowel disease in Asia. *Intest Res.* 2016; 14(2): 111-119. doi: 10.5217/ir.2016.14.2.111.
14. *Xu J., Webb, I., Poole, P. & Huang, W. E.* Label-free discrimination of Rhizobial bacteroids and mutants by single-cell Raman microspectroscopy. *Analytical Chemistry*, 2017; 89, 6336-6340.
15. *Yang S., Wu J., Ding C., Cui Y., Zhou Y., Li Y., Deng M., Wang C., Xu K., Ren J., Ruan B., Li L.* Epidemiological features of and changes in incidence of infectious diseases in China in the first decade after the SARS outbreak: an observational trend study. *Lancet Infect Dis.* 2017; 17(7):716-725.

Т.А. Гвозденко¹, Б.И. Челнокова², Л.В. Веремчук³

Состояние и перспективы развития рекреационного потенциала Дальнего Востока

Проблема сохранения активного долголетия и укрепления здоровья человека является самой важной для национальных интересов страны. Рациональное использование природных лечебных ресурсов для сохранения и восстановления здоровья относится к приоритетным направлениям природопользования и медицинской реабилитации.

В медико-биологической функции природно-ресурсного потенциала различают два аспекта – санаторно-курортное лечение и оздоровительный отдых. В этом аспекте территория ДВ обладает разнообразным природно-ресурсным потенциалом и уникальными природными лечебными факторами.

Функциональная структура рекреационного потенциала территории представляет собой систему, где одна из составляющей выражена рекреационными ресурсами, в качестве которых выделяются климатические, водные, гидроминеральные, лесные, горные, красота ландшафта, пейзажное разнообразие местности, социально-культурные (памятники истории и культуры) и другие виды ресурсов. Н.Ф. Реймерс понимает под рекреационным потенциалом «один из показателей природно-ресурсного потенциала – степень способности природной территории оказывать на человека положительное физическое, психическое и социально-психологическое воздействие, связанное с отдыхом».

¹ Директор Владивостокского филиала Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания – Научно-исследовательского института медицинской климатологии и восстановительного лечения, доктор медицинских наук

² Владивостокский филиал Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения, кандидат геолого-минералогических наук

³ Владивостокский филиал Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения, доктор биологических наук

Природные оздоровительные ресурсы (санаторно-курортные и лечебные ресурсы) представлены лечебно-климатическими местностями с характерными природными факторами ландшафтом, климатом, водными и растительными ресурсами, минеральными источниками. Природные лечебные факторы в зависимости от интенсивности и длительности воздействия, состояния здоровья человека, могут оказывать саногенное действие и повышать уровень здоровья, запуская компенсаторно-приспособительные реакции, или патогенное действие, вызывая патофизиологические реакции, болезнь или даже гибель.

Существенный вклад в понимание общих закономерностей и специфических особенностей ответной реакции организма на воздействие природных факторов ДВ внесли исследования Владивостокского филиала ДНЦ ФПД. Более 45 лет ведутся фундаментальные исследования, посвященные изучению региональных особенностей воздействия природных (климат, минеральные воды, лечебные грязи) и антропогенных факторов Дальнего Востока на организм человека, разработка новых технологий восстановительного лечения с использованием природных лечебных факторов ДВ.

Одним из резервов оздоровления являются лечебные свойства климата. Сегодня наиболее изучены медицинские аспекты территориального и сезонного распределения типов климата на юге Дальнего Востока. Климат Дальнего Востока как рекреационный ресурс изучен по ряду научных направлений. Исходно задачей исследования климата явилось изучение биоклиматических особенностей территории функционирующих курортов для проведения различных видов климатотерапии (аэрогелиотерапия, двигательный режим, талассотерапия и др.). В результате, биоклиматическая оценка рекреационных территорий позволила эффективно использовать ландшафтно-климатические условия на курортах, специализирующихся на лечении гидроминеральными ресурсами (Садгород, Шмаковка, Синегорье), использующих сезонность ландшафтно-климатической среды в климатотерапии.

Основным критерием оценки климата территории как лечебно-оздоровительного фактора явилось число дней с оптимальными, удовлетворительными и неудовлетворительными с физиологической точки зрения классами погоды. Определена степень комфортности климата Приморского края, изучены закономерности территориального и сезонного распределения типов климата в условиях юга ДВ. Благоприятные погодные условия на открытом воздухе в теплый период года составляют 65-80%. В структуре классов погоды преобладают субкомфортные погоды. Наиболее комфортные условия формируются в западных предгорных районах Сихотэ-Алиня и южном побережье залива Петра Великого. В холодный период года также преобладают благоприятные условия для проведения зимних видов отдыха и климатолечения для оздоровительных процедур.

Далее было проведено зонирование территории юга Дальнего Востока по уровню пато-саногенного воздействия природно-климатической среды на организм человека. Проведен анализ климатических условий для лечебно-оздоровительных целей и выделены территории юга Дальнего Востока с повторяемостью (в %) погодных условий с патогенными и саногенными свойствами климата в различные месяцы года. С целью оценки климата юга Дальнего Востока для медицинских целей исследованы процессы адаптации, стрессового напряжения при воздействии на организм человека внешних факторов. Рассчитан интегральный индекс воздействия (ИИВ), характеризующего функцию «отклика организма» на воздействие факторов внешней среды (рис.1) [1].

Оценка возможности организации климатолечения показала, что климат Приморского края характеризуется достаточной степенью комфортности и

благоприятен для организации климатолечения на открытом воздухе. Приморский край входит в зону ультрафиолетового комфорта с избыточным облучением летом.

Согласно оценки биоклиматического индекса, учитывающего влияние температуры, влажности воздуха и скорости ветра, территория Дальнего Востока в континентальной ее части имеет широкий диапазон индекса теплоощущения от «очень холодного» до «теплого комфорта», зависящие от широты местности и рельефа. Более суровые условия наблюдаются в Магаданской области и на Чукотке. В летнее время большая часть Дальнего Востока находится в зоне термического комфорта. В сторону прохладного дискомфорта выходят только территории крайнего севера и на побережьях северных морей.

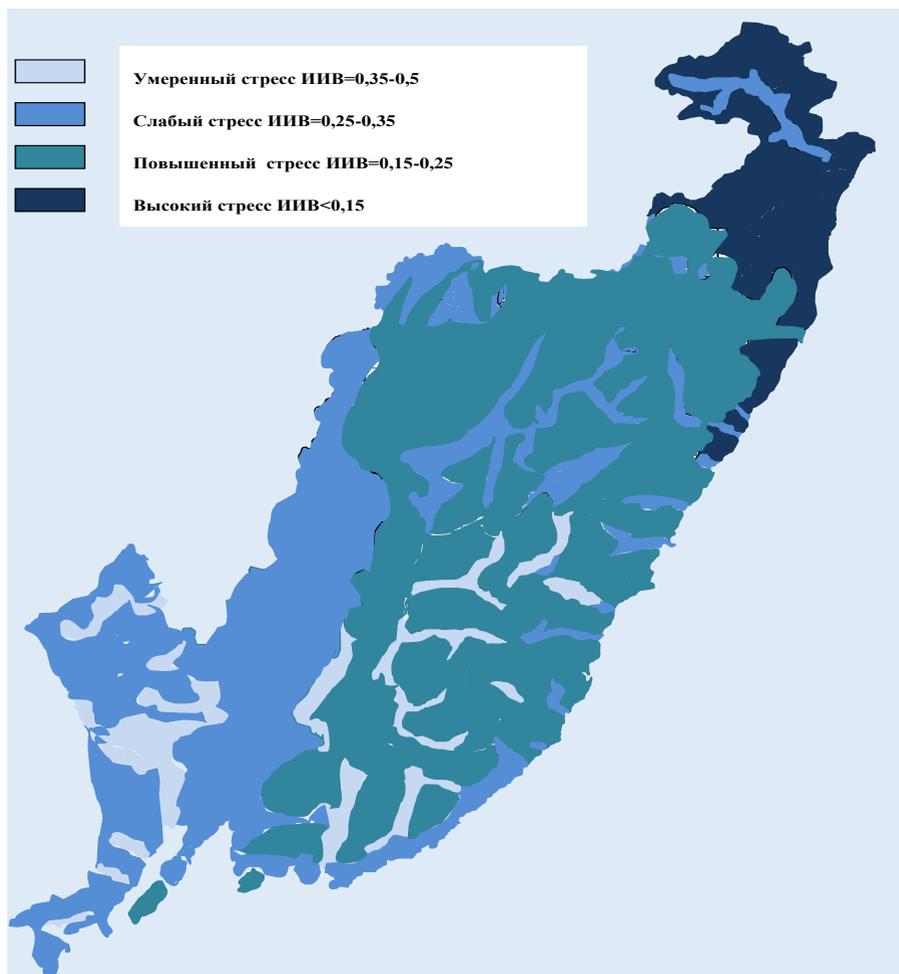


Рис. 1. Распределение интегрального индекса воздействия на территории Приморского края

Сегодня климатический ресурс изучается с точки зрения его патогенных свойств при воздействии на больных с бронхолегочной патологией, проживающих в условиях высокой техногенной нагрузки городов. Такой подход позволил выявить изменения характера ответной реакции органов дыхания на воздействие климато-техногенных

факторов окружающей среды в зависимости от нарастания тяжести бронхолегочной патологии. Разработать подходы к созданию медицинских технологий профилактики и лечения заболеваний, с учетом уровня метеозависимости пациента и степени загрязнения среды.

Перспективными в настоящее время являются исследования загрязнений воздушной среды при переходе на качественно новый уровень в связи с возможностью выделения новых классов токсикантов – нано- и микроразмерных частиц минералов. Механизм их воздействия на живой организм может принципиально отличаться от крупноразмерных поллютантов и представлять наибольшую опасность в плане развития экзозависимой патологии. В перспективе это позволит изучить ответную реакцию респираторной системы, иммунометаболических параметров организма на воздействие токсикантов воздушной среды с учетом климатических условий в различных зонах экологического напряжения; установить роль мелкодисперсных воздушных взвесей в патогенетических механизмах формирования респираторной патологии и разработать программы ориентированной профилактики и лечения метеолабильности у населения юга Дальнего Востока.

Особенности геологического развития и гидрогеологические условия обусловили формирование на Дальнем Востоке России уникальных лечебных минеральных вод и грязей (рис. 2).

Широкое распространение имеют углекислые холодные и теплые гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, мышьяковистые, борные, железистые, кремнистые; азотные термальные кремнистые, радоновые воды; азотно-метановые термальные и кислые воды с высоким содержанием металлов, а также бромные, йодо-бромные, йодные воды и азотно-метановые холодные воды с повышенной минерализацией [4].

По состоянию на 01.01.2017 г. на государственном балансе в пределах Дальневосточного федерального округа числятся 65 месторождений (участков месторождений) минеральных подземных вод с общими запасами: балансовыми - 36,3 тыс.м³/сут (кат.А - 3,0 тыс.м³/сут, кат.В - 8,6 тыс.м³/сут, кат.С1 - 9,4 тыс.м³/сут, кат.С2 - 15,3 тыс.м³/сут) и забалансовыми - 0,12 тыс.м³/сут.

Наибольшими запасами минеральных подземных вод обладают Камчатский край (18,8 тыс. м³/сут), Сахалинская область (3,7 тыс. м³/сут) и Приморский край (2,3 тыс. м³/сут). Из общего количества месторождений 27 (42%) находятся в распределенном фонде недр.

В 2016 г. действовало 36 лицензий на геологическое изучение, разведку и добычу или разведку и добычу минеральных подземных вод этих месторождений. Наибольшее количество лицензий действовало в Приморском крае (19), однако наибольший объем минеральной воды был добыт в Еврейской автономной области (1,6 тыс. м³/сут) и Магаданской области (1,2 тыс. м³/сут). Общая добыча минеральных подземных вод на территории округа составила 3,6 тыс. м³/сут, что составляет менее 10% от общих запасов минеральных вод. На Дальнем Востоке работает более 15 заводов розлива минеральных лечебно-столовых вод, действует порядка 75 СКУ.

На протяжении 30 лет в НИИ ведется мониторинг химического состава более 200 месторождений и проявлений природных столовых и лечебных минеральных вод Приморского, Хабаровского, Камчатского краев, Еврейской автономной, Амурской и Сахалинской областей, Курильских островов. Основную группу вод на ДВ (до 60%) составляют холодные углекислые воды. 150 источников классифицированы по 9 известным бальнеологическими типам (Ласточкинский, Турш-Су, Дарасунский, Шмаковский, Поляно-Квасовский, Крымский, Синегорский).



Рис. 2. Проявления природных лечебных и столовых минеральных вод на территориях Дальнего Востока

Большая группа холодных углекислых маломинерализованных (1-2, 1-5 г/дм³) вод не вошли ни в ГОСТ, ни в классификацию и выделены в самостоятельный Приморский и Покровский типы. Для полной характеристики всех встречаемых в регионе минеральных вод разработана их расширенная классификация, включающая известные и ранее не относимые к бальнеологическим типам, представленные различными группами воды [7]:

- холодные углекислые гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, мышьяковистые, борные, железистые, кремнистые;
- азотные термальные карбонатно-гидрокарбонатные, кремнистые, радоновые;
- азотно-метановые холодные гидрокарбонатные натриевые, кальциевые, хлоридные натриевые и хлоридные кальциевые;
- азотно-метановые термальные.

Особого внимания с точки зрения перспективы освоения и изучения заслуживают термальные воды островных территорий о. Сахалин, о. Кунашир, о. Итуруп, о. Парамушир. Изучаются уникальные по составу бромные, йодо-бромные и йодные воды, кислые воды с высоким содержанием металлов. Воды уникальные, перспективные требуют исследований и классификации.

Крупнейшее и наиболее изученное на Дальнем Востоке Шмаковское месторождение холодных углекислых минеральных вод (Приморский край). Эксплуатируются пять участков с различными типами вод (Уссурийский, Пасечный, Медвежий, Остросопочный Восточный, Восточно-Уссурийский). Воды используются для лечебного питья и наружных водных процедур в четырех санаториях и разливаются на трех заводах. Вода углекислая гидрокарбонатная кальциевая с минерализацией 1-3 г/л, железистая, кремнистая, иногда слаборадоновая. Встречаются лечебно-столовые воды и с более высокой минерализацией, существенно натриевого состава.

На восточном склоне Сихотэ-Алиня находится крупное, но слабо освоенное Горноводненское месторождение. Здесь для внутренних и наружных процедур углекислые воды используются в специализированной больнице и разливаются в бутылки в качестве лечебно-столовых. (Горноводный источник, Аввакумовка, Сандогоу).

На территории ПК расположено известное месторождение лечебно-столовой углекислой гидрокарбонатной магниевое-кальциево-натриевой воды Ласточка с минерализацией 3-6 г/л и воды с более низкой минерализацией. Скважина № 546 эксплуатировалась с 1959 г. Запасы утверждены в 1978 г. по категории В – 61 м³/сут. В 2002 г. пробурена новая скважина № 546-а, в 2005 г. утверждены запасы по категории В – 63,2 м³/сут. На месторождении утвержден «Округ горно-санитарной охраны». В ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» выделены в самостоятельный тип Ласточкинский. На месторождении Ласточка уже более 100 лет производится промышленный розлив.

В Хабаровском крае наиболее известно Мухенское месторождение углекислых гидрокарбонатных натриевых, борных лечебных минеральных вод в долине р. Пунчин, в 120 км восточнее г. Хабаровска. Вода разливается в бутылки и использовалась в санатории «Уссури» Хабаровского края. В Амурской области эксплуатируется Гонжинское месторождение.

На острове Сахалин освоено и хорошо изучено в медицинском аспекте Синегорское месторождение углекислых борных, мышьяковистых, кремнистых лечебных вод. На базе месторождения действует крупный санаторий (рис.3). Воды успешно применяются для наружных процедур и лечебного дозированного питья. Кроме этого, на Сахалине давно известные и используемые местным населением сероводородные, йодные и бромные воды (Антоновские и другие), являются перспективными для исследования.

Уникальными минеральными водами ДВ являются азотно-метановые холодные воды с повышенной минерализацией и бальнеологическими компонентами используются для промышленного розлива в Приморском крае (вода «Лотос» Раздольненского месторождения), в Амурском крае – Константиновское месторождение («Константиновская-1»), имеются проявления с высокой минерализацией, которые не используются. Азотные термальные воды в Дальневосточном регионе используются в оздоровительных центрах и санаториях для наружных процедур.

В Приморье азотные термальные воды – это Чистоводненское месторождение и одноименный санаторно-оздоровительный центр. Частично осваиваются теплые воды месторождений Горячий Ключ и Амгу «Теплый ключ». В Хабаровском крае более 100 лет используются Анненские термальные воды. Огромный потенциал имеют термальные воды Кульдурского месторождения. На базе этих месторождений действуют крупные санаторно-курортные комплексы.

Камчатский край обладает богатейшими гидроминеральными ресурсами (термальные воды и лечебные грязи) которые используются в санаторно-курортной деятельности. Балансовые эксплуатационные запасы термальных вод Паратунского месторождения утверждены по категории А в количестве 11,4 тыс. м³/сут.

В Военном санаторий «Паратунка» проводится лечение заболеваний опорно-двигательного аппарата с высокой эффективностью. Здесь проходят реабилитацию космонавты, подводники.

Лечение детей термальной водой Пушинского месторождения осуществляется в Дальневосточном центре медико-социальной реабилитации детей с ограниченными возможностями «Жемчужина Камчатки». В Елизовском районе Камчатского края

расположено Кеткинское месторождение с утвержденными запасами по категориям $C_1 - 1634 \text{ м}^3/\text{сут}$ $t_{\text{ср.взв.}} = +64,3^\circ\text{C}$, $C_2 - 1337 \text{ м}^3/\text{сут}$. Минеральные воды месторождения очень перспективны для исследования с целью уточнения показаний. Сегодня на месторождении действует база отдыха «Зеленовские озерки», гидроминеральный ресурс которой применяется в виде открытых бассейнов, пользуется огромной популярностью у местного населения и широко известен за пределами края.

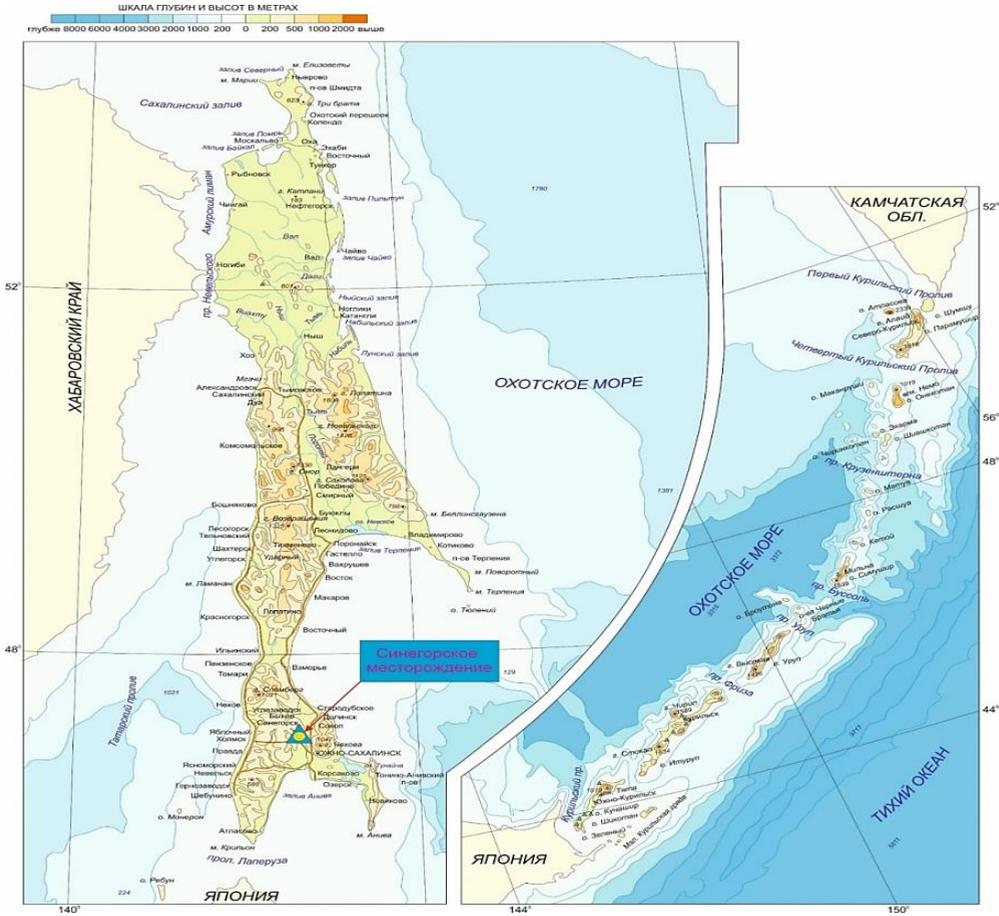


Рис. 3 Проявления природных лечебных и столовых минеральных вод на островных территориях Дальнего Востока

Эмпирически используются и осваиваются местным населением и туристами термальные лечебные воды Курильских островов. На островах Кунашир, Итуруп, Сахалин изучен химический состав азотно-метановых кремнистых термальных вод различного ионного состава. Большой лечебный потенциал имеют кислые воды с содержанием металлов (о. Парамушир). Совместно с ИМГиГ ДВО РАН проанализированы и разработаны бальнеологические заключения по 63 источникам МВ и грязей. На о. Парамушир, о. Итуруп, о. Кунашир интерес вызывают термальные ($T = +88^\circ\text{C}$) с высоким содержанием железа ($\text{Fe}^{2+3+} - 92-163 \text{ мг/дм}^3$), алюминия, фтора, Br, Mn; Ba – $0,132 \text{ мг/дм}^3$; Li и органических веществ ($C_{\text{орг.}} - 35,0 \text{ мг/дм}^3$), с кислой реакцией среды (pH – 1,12-1,14). Вода выделяется в самостоятельный тип (аналог

Гайского типа). Данный тип термоминеральных вод требует дальнейшего изучения, как и йодо-бромные термальные воды, которых не имеет аналогов в мире.

С целью изучения гидроминеральных ресурсов ДВ в институте проведены серии экспериментальных и клинических исследований (экспериментальный атеросклероз, нефрокальциноз, модель язвы желудка гастродуоденит, гепатоз и др.), позволивших установить специфику и высокую эффективность действия разных по составу, уникальных минеральных вод и лечебных грязей. В результате исследований 5 типов углекислых минеральных вод была оценена высокая эффективность их использования в профилактике атеросклероза, расширены показания для минеральных вод Шмаковского, Анненского месторождений при заболеваниях желудка и почек [2, 3].

Юг ДВ располагает существенными запасами пелоидов. Имеются почти все известные типы лечебных грязей: морские иловые, сапропелевые, озерно-ключевские, торфяные, гидротермальные сопочные. Наиболее распространены морские иловые сульфидные грязи. На Сахалине используются слабосульфидные грязи «Озеро Изменчивое», Садгородского типа. На Камчатке осваивается грязевое месторождение «Озеро Утиное», расположенное в 1,5 км к северу от пос. Паратунка Елизовского района Камчатского края. Грязи озерно-ключевые маломинерализованные, сульфидные. Перспективно применение бессульфидных сапропелевых грязей озера Лебединое на юго-западном побережье о. Итуруп, гидротермальная сопочная грязь вулканов Курильских островов, высокоминерализованных сопочных грязей грязевых вулканов на о. Сахалин. Готовится к проведению поисково-разведочных работ и изучению донных отложений (грязей) о. Птичь в Хасанском районе Приморского края.

В 2007 году в акватории Владивостока открыто перспективное месторождение морской иловой грязи бухты Мелководная острова Русский (Приморский край). Результаты поисково-оценочных работ показали, что морская грязь месторождения Мелководное относится к слабосульфидным сульфатно-хлоридным магниевонатриевым среднеминерализованным иловым грязям Садгородского типа. Специфической особенностью Мелководненской грязи являются ее высокая пластичность и вязкость, что обеспечивает хороший контакт с кожей и максимальное проявление термического, химического, сорбционного и механического действий пелоида. Пелоид содержит повышенное количество сульфида железа, карбоната и сульфатов магния, что определяет специфику ее терапевтического действия. Результаты экспериментально-клинического исследования Мелководненской сульфидной иловой грязи доказали ряд эффектов ее действия: снижение спастических явлений скелетной мускулатуры, нормализация периферического сопротивления, снижение сосудистого спазма, венозного стаза, воспалительного отека, снижение интенсивности болевого синдрома (уменьшение скованности, тугоподвижности и болей в пораженных конечностях, позвоночнике), снижения избыточной массы тела [5, 6]. Необходимо отметить, что морская грязь месторождения Мелководное оказывает значительно больший лечебный эффект по сравнению с другими типами грязей ДВ, является самой нагрузочной, ее применение требует углубленных исследований с отработкой конкретных лечебных методик.

Территория Дальнего Востока богата уникальными бальнеологическими ресурсами. На территориях Приморского, Хабаровского, Камчатского края, Сахалинской области выполнены научно-исследовательские работы по выделению лечебно-оздоровительных местностей и разработке их биоклиматических паспортов. 75% исследованных территорий обладают высоким рекреационным потенциалом, расположены на месторождениях природных минеральных вод (Камчатский, Хабаровский, Приморский край) и лечебных грязей (месторождение морских иловых

грязей Мелководное, бухта Экспедиция – Приморский край, торфяное месторождение Байбары – Хабаровский край). Охрана территорий лечебно-оздоровительных местностей, курортов регионального и местного значения и природных лечебных ресурсов – немаловажная проблема, требующая более тщательного подхода для ее решения

Одним из главных природных ресурсов юга ДВ является море с протяженностью побережья более 2000 км. К сожалению, морское побережье в лечебно-оздоровительных целях используется недостаточно. Море как природный лечебный фактор может применяться в виде бальнеоклиматической процедуры – талассотерапии, при проведении которой на организм воздействует целый комплекс факторов: морская вода, аэрозоль солей морской воды, аэроионы морских побережий, солнечное облучение, ионизированные воздушные потоки. Оптимальным требованиям талассотерапии по климатическим и гидрологическим показателям соответствует только южное побережье Приморского края – Хасанский, Шкотовский, Партизанский районы, Амурский и Уссурийский заливы. Для этих территорий разработаны методики дозированной талассотерапии при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, принципы организации центров талассотерапии.

Результатами, полученными совместно с учреждениями ДВО РАН доказано, что усиление действия бальнеофакторов достигается включением в лечебные комплексы биологически активных веществ мембранотропного, антиоксидантного или сорбционного действия морского и растительного сырья ДВ. Морские гидробионты (кальмар, трепанг, краб, кукумария, гребешок, морские ежи, водоросли) являются главными источниками альгинатов, каррагенанов, фукоиданов, ПНЖК, пектинов. Благодаря разнообразным спектрам их действия, таким как детоксикационное, гиполлипидемическое, гепатопротекторное и др., усиливаются иммунорегулирующий и липидомодулирующий эффекты природных лечебных факторов.

Важным аспектом перспективного развития ДВ является развитие туристско-рекреационных ресурсов. Их комплексный анализ позволяет выделить территории, характеризующиеся благоприятными ландшафтно-экологическими условиями для развития природного туризма и отдыха. В «рекреационных» и «туристских» ресурсах важная роль отводится природно-климатическим факторам. Поэтому развитие лечебно-оздоровительного туризма на территории ДФО является одним из его приоритетных направлений туристско-рекреационной деятельности, так как Дальневосточный федеральный округ обладает огромным природным лечебным потенциалом.

В настоящее время идет интенсивное освоение Дальнего Востока. Особое внимание уделяется островным территориям (о. Сахалин, Курильские острова). Краткий обзор показывает огромный потенциал природных лечебных ресурсов ДВ, который освоен только в малой части. Освоение и развитие использования лечебных ресурсов сдерживается удаленностью от центральных районов, низкой плотностью населения, слабым развитием инфраструктуры, климатическими особенностями территории. Однако, их более широкое использование может сгладить сезонный характер туризма, а при развитии Дальнего Востока занять отдельное значительное место в экономике.

В заключение хотелось отметить, значительные потенциальные запасы рекреационных ресурсов Дальнего Востока России превышают потребности функционирующих учреждений санаторно-курортного профиля и нуждающихся в реабилитации жителей региона. Высокая эффективность природных лечебных ресурсов, возможность эффективного использования препаратов, полученных на основе пелоидов, морских гидробионтов, растительного сырья ДВ обуславливают

перспективность и целесообразность более широкого освоения природных лечебных ресурсов Дальнего Востока России в общей системе профилактики и реабилитации.

Рекреационный потенциал территории ДВ используется недостаточно. Имеются еще не востребуемые резервы, использование которых позволит рекреационному комплексу ДВ России стать более развитым и привлекательным.

Литература

1. *Веремчук Л.В., Косолапов А.Б., Куку П.Ф.* Природно-экологические условия жизнедеятельности населения Приморского края. Владивосток: ДВГАЭУ. 2000. 159 с.

2. Возможности бальнеопрофилактики атеросклероза / М.В. Антонюк, Т.П. Новгородцева // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры.* 2001. № 6. С. 3-5.

3. Возможности профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний с использованием природных ресурсов Дальнего Востока / М.В. Антонюк // *Вестник ДВО РАН.* 2004. № 3. С.120-126.

4. Минеральные воды и лечебные грязи Дальнего Востока: справочник / Б.И. Челнокова, Т.А. Гвозденко. Владивосток. Изд-во «Дальнаука». 2017. 212 с.

5. Ответная реакция организма на курсовое воздействие лечебной грязи Мелководненского месторождения в эксперименте / О.Н. Фотина, М.В. Антонюк, Т.А. Гвозденко, Ю.К. Караман, Б.И. Челнокова, Е.В. Рудиченко // *Вопр. курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.* 2012. № 5. С. 54-56.

6. Способ лечения ожирения / М.В. Антонюк, Т.А. Кантур, О.Н Фотина, Т.А. Гвозденко // Патент Росс. Федерации № 2511068 от 06.02.2014. Бюл. №10, 2014.

7. *Chelnokov G.A., Bragin I.V., Kharitonova N.A., Chelnokova B.I.* Hydrochemistry of Low-temperature Thermal Water of Primorye Region (Russia) and Environmental Implications // *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering* Jan. 2015, Vol. 4 Iss. 1, PP. 93-96.

О.А. Лебедько¹, В.К. Козлов²

Разработка комплексной программы охраны материнства и детства коренного и пришлого населения Дальневосточного региона как ведущей составляющей формирования и повышения качества человеческого капитала

«Смысл всей нашей политики – это сбережение людей, умножение человеческого капитала как главного богатства России. Поэтому наши усилия направлены на поддержку традиционных ценностей и семьи, на демографические программы, на улучшение экологии, здоровья людей, на развитие образования и культуры». Президент Российской Федерации В.В. Путин (Послание Федеральному Собранию, 2016 г.).

Эксперты Агентства развития человеческого капитала Дальнего Востока разработали индекс человеческого капитала, учитывающий региональные параметры и представляющий среднее значение статистического (данные Росстата) и социологического (результатам исследования, проведенного совместно со ВЦИОМ) блоков. По уровню развития человеческого капитала определены три группы регионов ДВФО: лидеры, догоняющие и отстающие. Согласно данным Индекса, регионами-

¹ Директор Хабаровского филиала Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания – НИИ охраны материнства и детства, доктор медицинских наук

² Научный руководитель Хабаровского филиала Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания – НИИ охраны материнства и детства, член-корреспондент РАН

лидерами являются: Республика Саха (Якутия) с оценкой в 46,8 баллов; Хабаровский край – 46,3 балла; Сахалинская область – 46,2 балла. Догоняющие: Приморский край, Камчатский край, Чукотский автономный округ – 46,0; 45,5 и 45,0 баллов, соответственно. Отстающие: Амурская область, Магаданская область, Еврейская автономная область – 43,9; 43,9 и 42,1 балла, соответственно [Индекс развития человеческого капитала ДВФО на 1 ноября 2018 года, <https://index.hcfe.ru/>].

Здоровье – необходимое условие формирования человеческого капитала, показатель уровня культуры, наиболее яркий критерий эффективности государственного управления.

Создание эффективной конкурентоспособной экономики инновационного типа немисливо без повышения качества человеческого капитала, роста численности населения и увеличения трудовых ресурсов в объемах, необходимых для решения экономических задач, стоящих перед Дальневосточным Федеральным округом. К 2025 году в ДВФО планируется запустить более 1375 новых предприятий с потребностью в кадрах свыше 134 тысяч человек. Но медико-демографическая ситуация на Дальнем Востоке остается напряженной: по-прежнему, рождаемость ниже уровня простого воспроизводства населения.

Регионы ДВФО имеют сложные, подчас экстремальные экологические, биогеохимические, медико-демографические и социальные характеристики, несомненно влияющие на состояние здоровья населения, особенно самой уязвимой его части - детей и беременных женщин. Именно показатели здоровья женщин и детей являются маркером экономического и социального благополучия общества. Исследование уровня здоровья этих континентов населения позволяют прогнозировать демографическую ситуацию в регионе и в целом по России.

В докладе представлены результаты многолетних наблюдений НИИ охраны материнства и детства по оценке состояния здоровья беременных женщин, детей и подростков ДВФО. Отмечается положительная динамика ряда показателей: снижение младенческой и детской смертности, уровня заболеваемости. Однако эти показатели значительно превышают аналогичные в европейских странах. Так, показатель младенческой смертности в среднем по ДВФО уменьшился с 11‰ в 2013 году до 5,7‰ в 2017 году (в среднем по России -5,5‰) (табл. 1). В то же время в «новых» странах Евросоюза (ЕС) наиболее близких по социально-экономическому состоянию к России (Чехия, Эстония, Венгрия, Латвия, Литва, Польша, Словакия, Словения) этот показатель в 2016 году составил 3,9‰, а в «старых странах» ЕС – 3,3‰ (рис. 1).

Таблица 1

Коэффициент младенческой смертности по ДВФО
(умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми)

	2013	2014	2015	2016	2017
Магаданская область	8,9	6,5	5,1	5,1	3,7
Сахалинская область	6,0	6,4	6,2	3,6	4,7
Амурская область	10,1	9,1	7,7	5,2	4,9
Республика Саха Якутия	9,5	8,0	7,6	6,9	5,1
Хабаровский край	12,1	9,6	6,3	6,0	5,8
Приморский край	11,7	6,8	6,7	6,6	6,2
ЕАО	18,9	14,8	13,2	15,6	10,6
Камчатская область	10,3	10,0	9,4	12,9	11,9
ДВФО	11,0	9,0	7,5	6,5	5,7
РФ	8,2	7,4	6,5	6,0	5,5

Ведущими причинами смерти детей в ДВФО на первом году жизни остаются состояния, возникающие в перинатальном периоде (39%) и врожденные пороки развития (23%), далее идут: травмы и отравления (18%), болезни органов дыхания (12%), инфекционные и паразитарные болезни (3%), прочие причины (5%). Среди причин перинатальной смертности: асфиксия (35%), внутриутробные инфекции (29%), врожденные пороки развития (18%), прочие причины (18%).



Рис. 1. Коэффициент младенческой смертности в странах европейского союза
Источники: Росстат; база данных ВОЗ «Здоровье для всех», цит. по Улумбековой Г.Э., 2018.

Показатель детской смертности (0-17 лет) в отдельных регионах ДВФО колеблется от 73,0 в Хабаровском крае (на 100 тыс. соответствующего возраста) до 101,1 в Еврейской автономной области, и в среднем по России в 2016 году он составлял 70,9. Структура причин детской смертности (по мере убывания): травмы и отравления, болезни органов дыхания, врожденные аномалии и инфекционные болезни. В странах ЕС этот показатель детской смертности был значительно ниже: в «Новых-8» странах ЕС – 37,6, а «Старых» странах ЕС – 31,4 (рис. 2).

Сравнительный анализ сведений о числе заболеваний, зарегистрированных у детей и подростков в ДВФО в сравнении со средними данными по России, свидетельствует, что по большинству нозологических форм заболеваемость детей и подростков в ДВФО выше, чем в целом по Российской Федерации, что достаточно информативно представлено в соответствующих документах Росстата.

Следует отметить, что общероссийское снижение показателей младенческой смертности произошло за счет активного внедрения в практику современных технологий по родовспоможению, реанимации, интенсивной терапии, выхаживанию новорожденных, хирургической коррекции врожденных пороков развития у детей. Эти технологии требуют больших финансовых затрат на медицинскую технику, лекарства, обучение персонала. Но эти сложные технологии используются лишь на критических стадиях и позволяют снизить фетоинфантильные потери только до определенного уровня, о чем и свидетельствует динамика показателей младенческой смертности. Более перспективно направить наши усилия на организацию и обеспечение предупреждающих профилактических мероприятий на этапе планирования беременности и на ранних сроках беременности.

Формирование здоровья представляет собой замкнутый цикл «здоровые родители – здоровый ребенок – здоровый подросток – здоровый родитель», в рамках которого здоровье беременных женщин является важнейшей составляющей, обеспечивающей нормальный эмбриогенез.



Рис. 2. Смертность детей в возрасте от 0 до 14 лет.
Источники: Росстат; база данных ОЭСР «OECD. StatExtracts»,
цит. по Улумбековой Г.Э., 2018.

На рис. 3 схематично представлены механизмы влияния патологии эмбриогенеза на постнатальное развитие ребенка. Нарушение эмбриогенеза приводит к развитию патологии новорожденных, следствием которой могут быть частично обратимые изменения под влиянием комплекса лечебных воздействий и необратимые, которые лежат в основе отдаленных последствий в виде нарушения репродуктивного статуса, психических функций, патологии иммунных реакций, снижения адаптационности.

Характер отдаленных последствий определяет соответствующую повышенную заболеваемость, большое потомство, уменьшение продолжительности жизни.

Основной научной гипотезой проводимых нами исследований явилось положение о том, что основной причиной формирования патологии является своеобразие преморбидного фона беременных, детей и подростков, во многом формируемое особенностями биогеохимической характеристики Дальневосточного региона. Наличие природных зон рудоконцентраций микроэлементов, в т.ч. эссенциальных, в сочетании с их вторичными ареалами и потокам рассеивания вследствие трансгрессии загрязнителей с водой и воздухом вызывает повышение содержания железа, свинца и снижение - йода, селена в окружающей среде.

Комплексная оценка среды обитания (на примере Хабаровского края) и оценка степени влияния экологических факторов на здоровье беременной женщины, ребенка позволяет выделить три группы антропогенного воздействия: удовлетворительное, напряженное и критическое. Отмечена прямая зависимость уровня заболеваемости и экологической характеристики среды обитания. В районах с напряженной и, особенно, критической характеристикой экологической ситуации отмечается более высокий удельный вес самопроизвольных абортов, мертворожденных, недоношенных, детей с врожденными пороками развития.

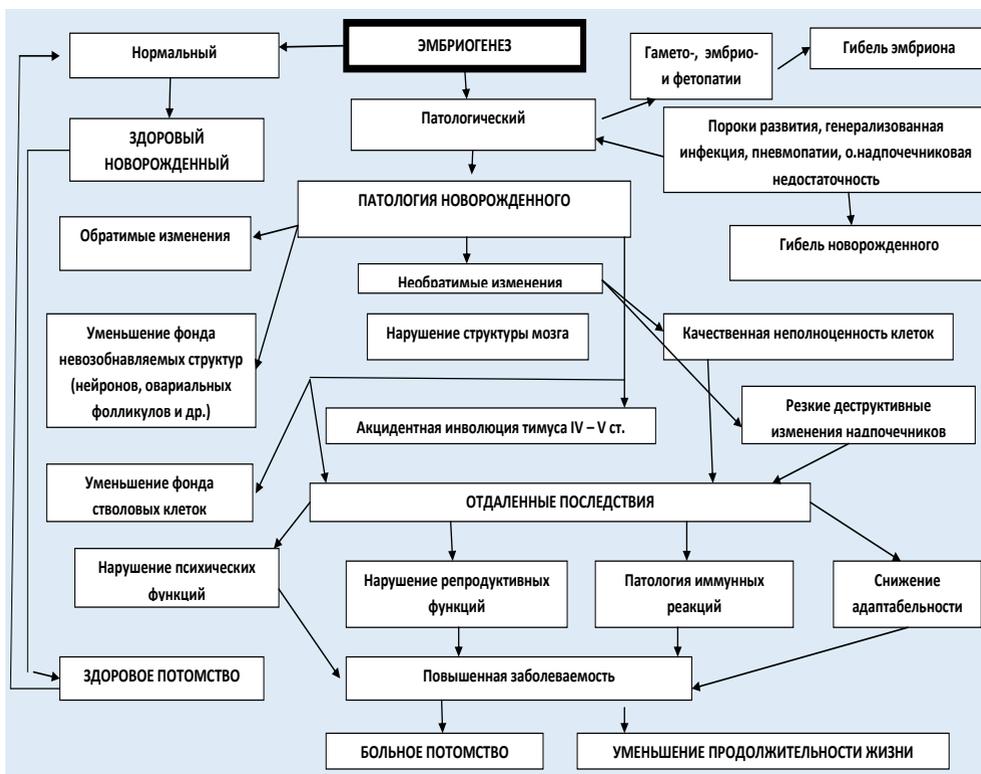


Рис. 3. Механизмы влияния патологии эмбриогенеза на постнатальное развитие

При изучении региональных особенностей микроэлементного статуса крови у беременных, детей и подростков нами выявлен дисбаланс в содержании микроэлементов: избыток цинка, железа, кобальта, свинца на фоне дефицита эссенциальных (жизненно необходимых) микроэлементов йода, селена. Так, дефицит йода в цельной крови у беременных женщин Приамурья выявлен в 85,6% случаев, при патологии течения беременности он достигает уровня 96%. Необходимо также отметить, что в целом и вне беременности дефицит йода определен в 81,8% наблюдений. Дефицит селена в сыворотке крови и в форменных элементах зарегистрирован у 60% беременных, снижение содержания меди в форменных элементах крови – у 92,3%. Железодефицитные состояния по уровню сывороточного железа и ферритина выявлены у 63,5% беременных при преобладании скрытых форм (47,4%).

Дефицитные состояния, влияющие на преморбидный фон, помимо биогеохимического своеобразия региона, в определенной степени обусловлены характером питания детей, подростков, беременных женщин.

В ходе анализа нутриентного статуса беременных женщин, проживающих в условиях Приамурья, выявлено, что среднее содержание белка в продуктах суточного рациона питания ($57,19 \pm 5,63$ г/сут) не соответствует нормативу, разработанному для регионов Сибири и Дальнего Востока. Среднесуточный уровень жиров ($70,11 \pm 8,74$ г/сут) ниже оптимальной физиологической потребности в 1,3 раза, недостаточно содержание углеводов ($167,71 \pm 16,28$ г/сут). Установленная неполноценность питания

у обследованных беременных по макроэлементам сопровождалась нарушением их соотношением в 77,3% (белки: жиры) и в 90,9% (белки: углеводы) случаев. Оценка адаптивных реакций беременных по уровню интегрального показателя функционального отклика организма (ИПФО) в зависимости от содержания белков, жиров, углеводов в суточном регионе питания продемонстрировала: региональные нормативные показатели зарегистрированы только у 18,2 % беременных женщин Приамурья, формирование специфических адаптивных качеств – у 13,65%, функциональное напряжение организма – у 54,5% и формирование дисфункциональных сдвигов – у 13,65%.

Высокая восприимчивость беременных женщин к инфекционным, воспалительным заболеваниям патогенетически связана с цитоэнергодифицитом – нарушением энергообеспеченности иммунокомпетентных клеток крови (ИКК). Используя метод проточной лазерной цитометрии для оценки мембранного потенциала митохондрий ИКК, мы выявили нарушение цитоэнергетики ИКК крови, преимущественно лимфоцитов - в зависимости от срока гестации. Исследование сезонных влияний на величину мембранного потенциала митохондрий ИКК у беременных женщин, проживающих в городских (г. Хабаровск) и сельских (Еврейская автономная область) условиях Приамурья показало, что энергообеспеченность ИКК в течение года у беременных городской местности несколько меньше, чем в группе сельских женщин, что очевидно связано с более высоким уровнем антропогенной нагрузки на городских жителей. Однако кривая сезонных изменений нормальных параметров мембранного потенциала митохондрий ИКК у женщин в условиях города намного более плавная (максимальный перепад между сезонами осень-зима – 11,3%), чем у сельских беременных (максимальный перепад весна-лето – 57,1%), что обусловлено выраженным влиянием сезонных факторов на профессиональную деятельность и образ жизни жителей села. Корреляционный анализ данных выявил достоверную связь между биохимическими показателями крови белкового, липидного обменов и энергетической обеспеченностью ИКК по данным мембранного потенциала митохондрий.

Отдельно следует отметить роль дефицитных состояний (дефицит макроэлементов, эссенциальных микроэлементов, антиоксидантов, фолатов, энергодифицит) в формировании патологии системы «мать-плацента-плод» при беременности, осложненной перинатально значимыми инфекциями, в т.ч. в трансформации инфицирования условно патогенными микроорганизмами (герпес-вирусами и микоплазмами) в инфекционный процесс.

В аспекте персонализированного подхода к лечебно-профилактическим мероприятиям актуально выявление специфических генов, способных влиять на адаптационные возможности в меняющихся экстремальных условиях. Оценка полиморфизмов генов II фазы биотрансформации ксенобиотиков выявила этнические особенности системы детоксикации (GSTT1 и GSTM1), которые заключаются у женщин коренного населения Приамурья – нанаяк (монголоидная раса) в высокой частоте встречаемости сочетанного делеционного полиморфизма (GSTT1 0/GSTM1 0) и в низкой частоте – у пришлых жительниц (европеоидная раса). Известно, что данный генотип сопровождается отсутствием активности соответствующих ферментов, участвующих в процессах экзо- и эндогенной детоксикации, антиоксидантной защиты в организме.

Изучение генетических полиморфизмов в гене фолатного цикла – метилентетрагидро-фолатредуктазы (MTHFR) показало наличие низкофункциональных генотипов (мутации в виде делеций, однонуклеотидных замен) у 35,6–64,7% беременных женщин, в т.ч. у коренных жительниц Приамурья в 52,2–

71,4% случаев ($p < 0,05$ в сравнении с пришлыми). Реализация факторов риска и формирование нарушения эмбриогенеза происходит с учетом генетической предрасположенности, поэтому женщины с выявленными низкофункциональными генотипами составляют группу высокого риска осложненного течения беременности (невынашивание, плацентарная недостаточность, поздние гестозы, врожденные пороки развития плода, в том числе дефекты невральнoй трубки и пороки развития легких).

Таким образом, совокупность указанного дисбаланса и дефицита нутриентов, эссенциальных микроэлементов, формирование энергодeфицита иммунокомпетентных клеток крови обуславливает формирование своего рода метаболического импринтинга, что приводит к нарушению иммунной, эндокринной и нервной систем, неблагоприятному исходу беременности и родов, проявлению фетального программирования, рождению незрелого потомства.

С нашей точки зрения, следующей большой проблемой, вносящей серьезный вклад в демографические потери Дальневосточного региона, являются болезни органов дыхания, стоящие на втором месте после травм и отравлений в структуре причин детской смертности. «Трудно прогнозировать будущую эволюцию бронхолегочной патологии у детей. Но, несомненно, что она никуда не денется. По прогнозам ВОЗ через 30 лет хроническая патология легких выйдет на первое место в мире, и займет первое место среди причин смертности, опередив рак и сердечно-сосудистые заболевания» [цит. Главный внештатный детский пульмонолог Российской Федерации, проф., д.м.н. Ю.Л. Мизерницкий, 2018].

Проблемы респираторной патологии у детей, характерные для Российской Федерации в целом, в силу комплекса неблагоприятных климато-географических и экологических причин, приграничного положения большинства территорий, приобретают в Дальневосточном регионе особую остроту и сопровождаются, в сравнении с другими субъектами Российской Федерации, несопоставимо высокими медико-социальными и экономическими потерями.

По данным официальной статистической отчетности у детей и подростков, проживающих в Хабаровском крае, болезни органов дыхания продолжают оставаться на первом месте в структуре общей заболеваемости, в 2017 году их доля составила 60,3% у детей и 33,4% у подростков. Показатель общей заболеваемости болезнями органов дыхания за период 2005-2017 гг. составлял в разные годы от 1179,2‰ до 1523,1‰ у детей и от 532,1‰ до 788,8‰ у подростков.

С учетом быстро обновляющейся вследствие трансграничного переноса инфекций эпидемиологической ситуации, мониторинг этиологии, персистенции атипичных возбудителей, ассоциированных с разными нозологическими формами бронхолегочных заболеваний, является одной из приоритетных задач. Данные исследования актуальны с позиций не только эпидемиологии, вакцинопрофилактики, но и прогноза клинического течения бронхолегочных заболеваний.

Многолетний мониторинг, определение фено- и генотипа возбудителей, механизмов их резистентности выявил, что этиологические варианты бронхолегочных заболеваний у детей сохраняют свой основной спектр при различных нозологических формах с преобладанием пневмококка. Штаммы *S.pneumoniae*, циркулирующие в детской популяции Хабаровского края, в 93% случаев принадлежат вакцинным серовариантам с преобладанием 19 F серотипа (35%), 14, 6 A/B/C/D, 4, 23F и 3 серотипов/групп, которые ассоциируют с резистентностью к антимикробным препаратам. В международной базе данных www.mlst.net нами зарегистрировано 6 новых сиквенстипов (ST) пневмококков. Выявлены три основные филогенетические группы дальневосточных пневмококков. 33,3% ST (2 из 6) устойчивы к

антимикробным препаратам: пенициллину и эритромицину. Определен самый частый сиквенстип пневмококка, вызывающий пневмонию у детей – ST11157 серотипа 19F. ST11157 кластеризуется с известным ST271, к которому относятся азиатские полирезистентные штаммы.

Анализ молекулярной характеристики *Mycoplasma pneumoniae*, выявленной в регионе у детей с внебольничной пневмонией в осенне-зимний период 2016-2017 гг., позволил зафиксировать появление мутации в 23S рРНК у возбудителя. С данной мутацией может быть связано формирование резистентности к макролидам 3 поколения. Полученные данные свидетельствуют о впервые зарегистрированной на территории Хабаровского края вспышке внебольничных пневмоний, обусловленной макролид-резистентными штаммами *M. pneumoniae*. Этот факт имеет немаловажное значение в аспекте изучения трансграничной передачи штаммов возбудителей респираторных инфекций, так как Дальневосточный регион находится в географической близости с регионами с высокой распространенностью макролидрезистентной *M. Pneumoniae* (КНР – более 90%, Ю. Корея – более 50%, Япония – 50-90%).

Распространенность бронхиальной астмы среди детей региона за последние 10 лет возросла в 2 раза, у подростков – в 1,5 раза. У детей с бронхиальной астмой, проживающих в районах, подвергшихся подтоплению в период катастрофического паводка на реке Амур в 2013 г., в 8,3% случаев выявлена сенсibilизация к плесневым грибам, преимущественно вида *Aspergillus niger* (71%).

Экологический подход приближает нас к пониманию причинности патологии. Как и в генезе нарушений здоровья беременных женщин, неблагополучное состояние экологии и биогеохимических показателей территорий ДВФО становится дополнительным фактором риска формирования хронической бронхолегочной патологии у детей. Изучение показателей микроэлементного статуса в сыворотке и форменных элементах крови у детей с врожденными пороками развития легких (ВПРЛ) в условиях Приамурья и оценка влияния дисбаланса микроэлементов на формирование воспалительного процесса выявила, что сниженные концентрации йодидов в цельной крови, меди и марганца в сыворотке и в форменных элементах крови, повышенное содержание свинца в форменных элементах увеличивают риск развития воспалительных процессов в легких. Таким образом, дефицит эссенциальных микроэлементов, играющих большую роль в поддержании функции иммунной системы, и накопление в форменных элементах крови свинца способствуют более частым рецидивам заболевания и участвуют в хронизации процесса в легких.

Наряду с дефицитом эссенциальных элементов, в реализации различных вариантов клинического течения бронхолегочных заболеваний у детей значимую роль играют энергодефицитные состояния. Установлены взаимозависимые и сопряженные процессы при внебольничной пневмонии у детей: снижение энергообеспеченности иммунокомпетентных клеток крови и митохондриальный путь реализации апоптогенной программы лимфоцитов периферической крови, более выраженные у детей с условно «гипореактивным» течением заболевания. У 53,2% детей с хроническими неспецифическими воспалительными заболеваниями легких даже в периоде ремиссии выявляются признаки энергодефицита ИКК. Снижение активности сукцинатдегидрогеназы и увеличение процента ИКК с пониженным потенциалом митохондрий коррелируют с длительностью и тяжестью заболевания.

В аспекте персонализации профилактических, терапевтических и реабилитационных мероприятий представляют интерес данные, свидетельствующие, что носительство гомозиготного варианта гена Il-12 в позиции C-592A и гетерозиготного варианта гена SOD в позиции Ala-16Val ассоциировано с риском развития внебольничной пневмонии гипореактивного течения. В результате полиморфизма в

786 С/Т в гене NOS3 у детей с БЛД выявлены генотипы Т/С и С/С, связанные со снижением конститутивного синтеза оксида азота, который регулирует функции бронхиального дерева и является релаксирующим фактором эпителиального происхождения. Установлено, что выраженность вентиляционных нарушений у детей с БЛД в периоде обострения ассоциирована с наличием полиморфизма гена NOS3 786 С/Т.

На основе наиболее информативных биомаркеров в НИИ охраны материнства и детства разработаны научно-обоснованные способы прогнозирования риска развития и хронизации воспалительных заболеваний бронхолегочной системы у детей, превентивные и терапевтические персонализированные тактики на основе таргетной элиминации этиологически значимых возбудителей, антенатальной и постнатальной коррекции нарушений микроэлементного и нутриентного статусов, антиоксидантной защиты и энерготропной терапии, в том числе с применением препаратов на основе биоресурсов Дальнего Востока.

Приоритетной, в т.ч. с точки зрения формирования качественного человеческого капитала, является охрана здоровья детей подросткового возраста, поскольку именно подростки представляют собой ближайший интеллектуальный, трудовой и репродуктивный потенциал развития Дальневосточного региона.

Анализ состояния здоровья подростков свидетельствует о росте распространенности морфофункциональных отклонений, хронических заболеваний, нарушении физического и полового развития, увеличении удельного веса патологии взрослого периода. Число здоровых подростков в различных административно-территориальных образованиях ДВФО колеблется от 3% до 10%. Около 40 % подростков имеют хронические заболевания, среди которых лидируют болезни костно-мышечной системы, психические расстройства, болезни эндокринной и нервной системы.

Многолетний мониторинг состояния здоровья подростков коренного и пришлого населения Дальнего Востока позволил определить четкую тенденцию к омоложению и хронизации болезней, влекущих развитие профессиональных ограничений и стойкой инвалидизации молодежи, потере репродуктивного потенциала.

Проведенная оценка качества жизни выявила снижение показателей, характеризующих общее здоровье подростков, в сравнении со сверстниками, проживающими в европейских регионах Российской Федерации (69% и 84,5% соотв.), за счет существенного снижения социального (58,5% и 72%, соотв.), эмоционального (47,5% и 72,0% соотв.) и физического функционирования (64,5% и 87,0% соотв.). Качество жизни подростков с синдромом вегетативной дисфункции ниже показателей здоровых, минимальный уровень выявлен у подростков с гипоталамическим синдромом пубертатного периода (57,5 %).

Состояние хронического стресса и социальная дизадаптация способствуют росту психосоматических заболеваний и поведенческих расстройств у детей школьного возраста, появлению негативно-агрессивных реакций, направленных как на общество, так и на себя самого. Среди обследованных нами подростков коренного и пришлого населения Приамурья широко распространены «протестные» формы поведения: курение, употребление алкоголя, ранняя сексуальная активность и другие формы девиантного поведения – факторов, которые рассматриваются как ключевые в формировании здоровья. Во всех группах, независимо от пола и возраста, определена отрицательная взаимосвязь значения IQ с курением и употреблением наркотиков.

Подростки с девиантным поведением отличаются низкими антропометрическими данными в сравнении со здоровыми. Снижение темпов физического развития, вместе с вторичной психологической дизадаптацией подростков-девиантов, характеризует задержку онтогенетического развития. Здоровье подростков-девиантов

характеризуется повышенным уровнем психосоматических (56,3%) и психических расстройств (48,7%), в сравнении с детьми с нормативным поведением (28), преобладанием у подростков-девиантов заболеваний желудочно-кишечного тракта, эндокринных расстройств, патологии сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, почек и мочевыделительной системы, тубинфицированности, нарушений в психической сфере и опорно-двигательном аппарате.

В результате проведенной оценки полового развития подростков установлено, что сроки формирования вторичных половых признаков варьибельны в различных клинических группах, обусловлены сопутствующей соматической и эндокринной патологией, наличием синдрома недифференцированной дисплазии соединительной ткани. Оценка полового развития выявила нарушение темпов полового развития у 33,8 % девочек и 26,2% мальчиков. В структуре нарушений полового развития девочек пубертатного периода выявлялись: задержка формирования вторичных половых признаков (29,6%), гипогонадизм, нарушение строения и дифференцировки матки и яичников (16,4% и 21,0% соотв.). У мальчиков нарушение становления репродуктивной системы проявлялось в большинстве случаев задержкой полового развития. Преждевременное развитие было диагностировано у подростков, имевших гипоталамический синдром, экзогенно-конституциональное ожирение, артериальную гипертензию.

Наиболее значимыми для формирования патологии подросткового возраста определены факторы перинатального риска, этнические и экологические факторы, психоневрологические нарушения, дефицитные состояния (недостаток и дисбаланс макро- и микронутриентов), генетическая предрасположенность к мультифакториальным заболеваниям.

Комплексный анализ анте- и постнатальных биомаркеров и факторов риска в ассоциации с полиморфизмом соответствующих генов позволил выделить новые этиопатогенетические подходы к разработке персонализированных превентивных, терапевтических и протективных стратегий охраны здоровья подростков, что будет способствовать повышению качества жизни, репродуктивного потенциала, расширению выбора профессиональных компетенций и оптимизации индивидуального прогноза общего и профессионального долголетия.

На заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (17 декабря 2018 года) Председатель Правительства Российской Федерации Д.А. Медведев отметил: «Особое внимание – регионам Дальнего Востока. Здесь действительно сложная ситуация с численностью населения. Поэтому решение демографических проблем в этом федеральном округе, как и других задач, должно быть в приоритете».

Решение общенациональных и региональных задач по обеспечению естественного прироста населения, увеличению продолжительности жизни к 2024 году до 78 лет, формированию и повышению качества человеческого капитала – все это невыполнимо без разработки комплексной Программы охраны материнства и детства коренного и пришлого населения Дальнего Востока. На основании более чем 30-летнего мониторинга показателей младенческой и детской смертности и заболеваемости, состояния здоровья детей, подростков, беременных женщин, проживающих в различных регионах Дальнего Востока, мы предлагаем сосредоточить основные усилия в рамках Программы на решении проблем перинатологии, пульмонологии детского возраста и репродуктивного здоровья подростков, в том числе с экологических и донозологических позиций.

Для успешной реализации Программы необходим межведомственный и междисциплинарный подход: проведение фундаментальных и прикладных

исследований, прямо или косвенно способных улучшить демографическую ситуацию на Дальнем Востоке, должно быть связано с практической деятельностью по охране здоровья детей, подростков и беременных женщин. В институтах ДВО РАН, помимо возможности научного обеспечения медицинской составляющей Программы, имеется огромный потенциал инновационных разработок в областях: фармакологии (создание эффективных антибиотиков, энтеросорбентов, иммуностимуляторов, энерготропных, антифибротических препаратов из уникального дальневосточного природного сырья растительного и животного происхождения); продовольствия (получение из морских гидробионтов и сельскохозяйственных культур новых типов функционального и лечебного питания); IT-технологий (модели, методы) и интеллектуальные сервисы диагностики и анализа эпидемической ситуации и пр.).

На региональном уровне для финансового обеспечения Программы целесообразно синхронизировать ее с национальными проектами «Демография», «Наука» и «Здравоохранение».

П.Я. Бакланов¹

Территории опережающего развития – как новый инструмент регионального развития Тихоокеанской России

В конце 2014 г. в России был принят специальный Федеральный Закон², в котором определены условия, механизмы и правовые основы формирования территорий опережающего развития (ТОР).

В целом под ТОР понимается компактная территория размером в несколько км², у которой имеются благоприятные географические, социальные, экономические и научно-образовательные условия для развития инновационных и, прежде всего – экспортно-ориентированных видов деятельности и производств. На такой территории необходимо выделять и оценивать, как реально существующие население и социальную инфраструктуру, так и перспективные [1]. При этом ТОР становится территорией опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР). Далее для краткости будет использоваться аббревиатура ТОР. Обобщенная структурно-функциональная схема ТОР приводится на рис. 1.

ТОР (ТОСЭР) в целом можно рассматривать как территориальную социально-экономическую систему локального уровня [3]. В ряде случаев ТОР может состоять из нескольких отдельных площадок с размещением на каждой из них однородных или различных видов деятельности, инфраструктурных и социальных объектов. При этом общая структурно-функциональная схема ТОР остается постоянной, устойчивой.

Для компаний-резидентов ТОР Федеральным законом определена обширная система преференций, включая налоговые каникулы резидентам на 10 лет; снижение налогов на прибыль (общая налоговая нагрузка не более 12,2%); таможенные льготы на оборудование, технологии; льготное подключение к объектам инфраструктуры; ускоренное оформление; особый режим землепользования и государственного контроля.

¹ Научный руководитель Тихоокеанского института географии ДВО РАН, академик РАН

² Федеральный закон от 29.12.2014 г. № 473-ФЗ «О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации».

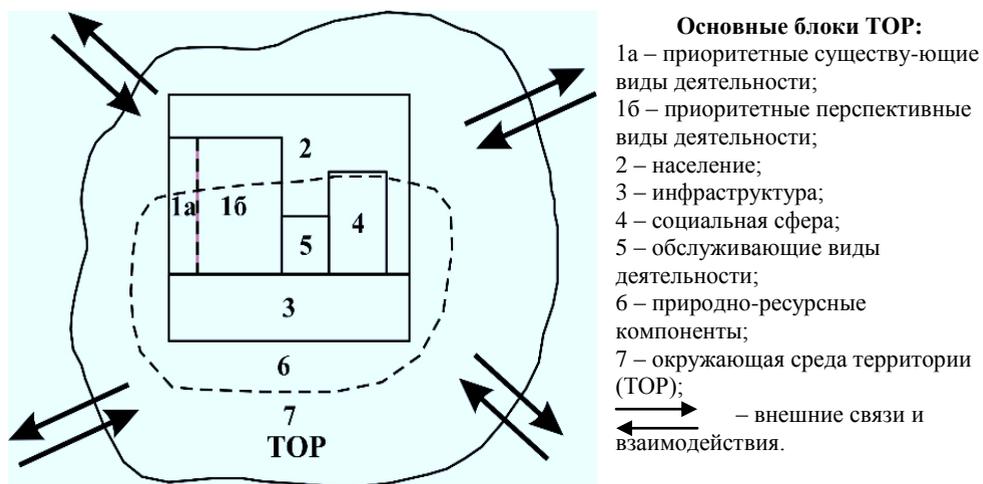


Рис. 1. Основные блоки функциональной структуры территорий опережающего развития

Все эти предпочтения призваны обеспечить большую инвестиционную привлекательность ТОРов – как для российских, так и для иностранных инвесторов. С учетом уникальности экономико-географического и геополитического положения российского Дальнего Востока, который в последнее время часто именуется как Тихоокеанская Россия, имеются благоприятные возможности и для иностранных инвесторов [5]. В настоящее время здесь созданы (утверждены Правительством РФ) 18 ТОР (рис. 2).

Такие территории созданы во всех субъектах региона, кроме Магаданской области. Больше всего – 4 ТОР – созданы в Приморском крае, по 3 – в Амурской области, Хабаровском крае и на Сахалине. 2 ТОР – в Якутии, по 1 – на Чукотке, Камчатке и Еврейской автономной области (ЕАО). Ниже приводятся выполненные нами группировки ТОР по их специализации (табл. 1). Все эти ТОР находятся в стадии формирования. Тем не менее, во всех ТОР уже определено около 250 резидентов – различных компаний, представивших значимые инвестиционные проекты. Сейчас ведется строительство объектов инфраструктуры, а также – основных проектных объектов резидентов.

Одной из первых в 2016 году была утверждена многоотраслевая ТОР «Надеждинская» в пригороде Владивостока. Большой объем проектной документации для нее был выполнен институтом «Приморгражданпроект». Итоговый документ – План перспективного развития этой ТОР, предусмотренный ФЗ, был разработан большим коллективом сотрудников Тихоокеанского института географии ДВО РАН с участием некоторых специалистов «Приморгражданпроекта» под руководством автора этой статьи.

Ниже приводится обобщенное содержание плана перспективного развития Надеждинской ТОР.

1. Общая характеристика
2. Оценка основных предпосылок и конкурентных преимуществ формирования ТОР «Надеждинская»
3. Характеристика резидентов ТОР
4. Обоснование приоритетных видов деятельности в пределах ТОР «Надеждинская»

5. Обобщенная оценка экономической эффективности формирования «Надеждинская»
6. Оценка перспектив пространственного развития ТОР
7. Основные выводы

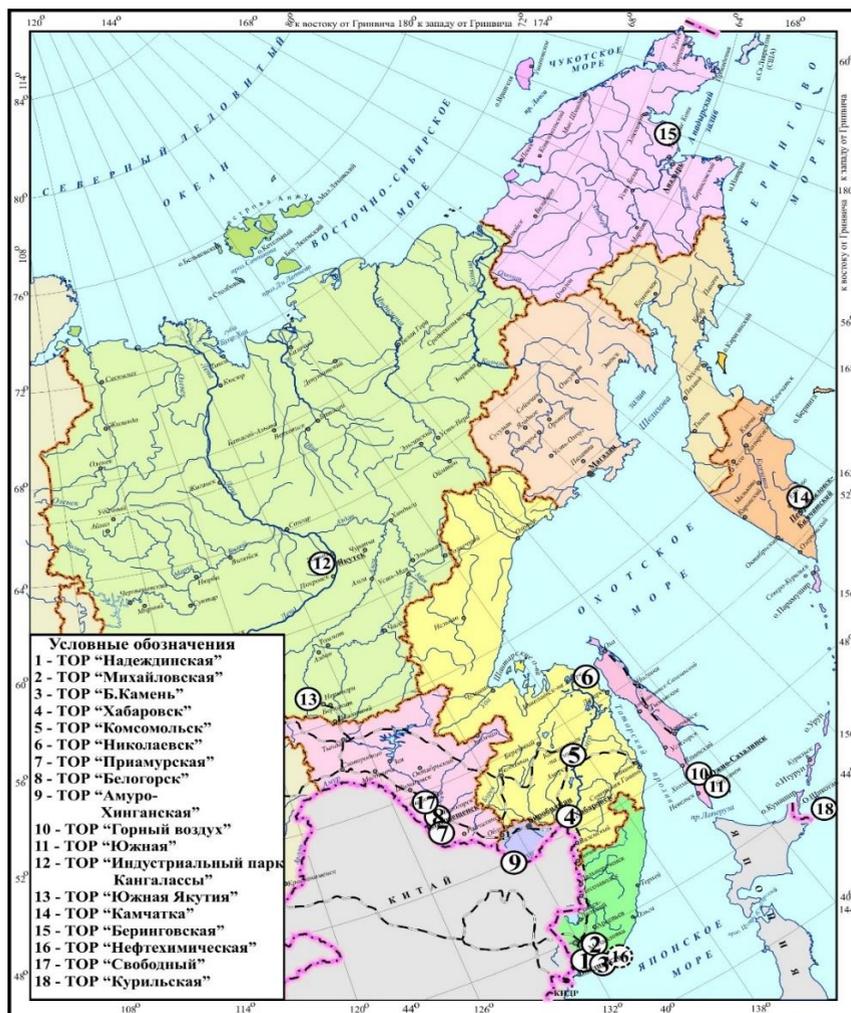


Рис. 2. Существующие территории опережающего развития (ТОРы) в Тихоокеанской России

В основу разработки Плана перспективного развития (ППР) ТОР «Надеждинская» нами было положено два принципиально важных положения:

1. Формирование ТОР «Надеждинская» необходимо тесно увязывать с развитием г. Владивостока. Более того – формирование этой ТОР – важнейшая стадия и звено в развитии Владивостокской агломерации (рис. 3);

2. Формирование ТОР рассматривается как развитие соответствующей территориальной социально-экономической системы (ТСЭС) при включении в ее структуру целого ряда новых инвестиционных проектов. Для подобных оценок и расчетов использовался разработанный нами [2] общий алгоритм подобных оценок (рис. 4).

Группировка территорий опережающего развития Тихоокеанской России по специализации

ТОРы с многоотраслевой специализацией на основе:

добычи природных ресурсов	сельского хозяйства	обрабатывающих производств
Амуро-Хинганская (ЕАО) Курильская	Белогорская (Амурская обл) Приамурская (Амурская обл.) Южная (Сахалинская обл.) Камчатская	Надеждинская (Приморский кр.) Кангалассы (Якутия) Хабаровская Комсомольская Николаевская (Хабаровский кр.)

ТОРы с узкоотраслевой специализацией на основе:

добычи природных ресурсов	сельского хозяйства	рекреации и туризма	обрабатывающих производств
Беринговская (Чукотский АО) Южная (Якутия)	Михайловская (Приморский кр.)	Горный воздух (Сахалинская обл.)	Б. Камень (Приморский кр.) ВНХК (Приморский край) Свободный (Амурская обл.)

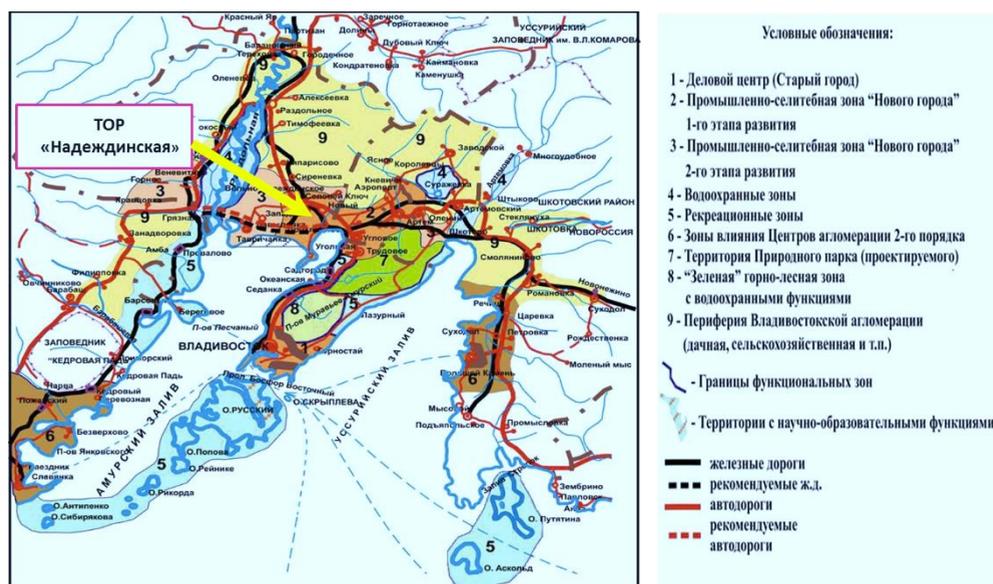


Рис. 3. Функциональное зонирование территории и акватории Владивостокской агломерации

В ППР были представлены детальные социально-экономические характеристики Приморского края и агломерации Владивостока, в структуры которых будет включаться формируемая ТОР «Надеждинская» и ее инвестиционные проекты. Оценено уникальное экономико-географическое и транспортно-географическое положение района ТОР «Надеждинская» - его размещение в зоне стыка крупных железнодорожных, морских и автодорожных путей, авиационного узла. Близость (до 200 км) ряда крупных морских портов, а также нескольких наземных транспортных выходов в КНР и КНДР. Наконец, прибрежное положение самой ТОР «Надеждинская».

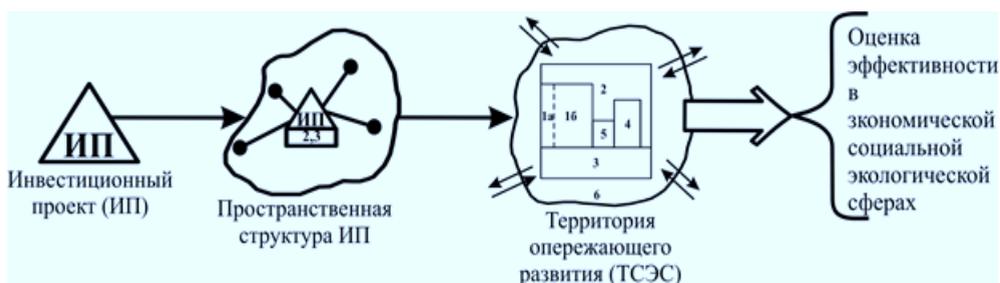


Рис. 4. Схема оценки включения инвестиционного проекта в ТОР (ТСЭС)

- | | |
|----------------------------|--|
| 1 – основные производства; | 4 – социальная сфера; |
| 2 – население; | 5 – обслуживающие производства; |
| 3 – инфраструктура; | 6 – окружающая, в т.ч. природно-ресурсная среда. |

Уникальное географическое положение предопределяет особую роль юга Приморья, в реализации стратегических и экономических интересов России в АТР. Важным преимуществом ТОР «Надеждинская» является ее положение в системе междугосударственных связей (рис. 5).

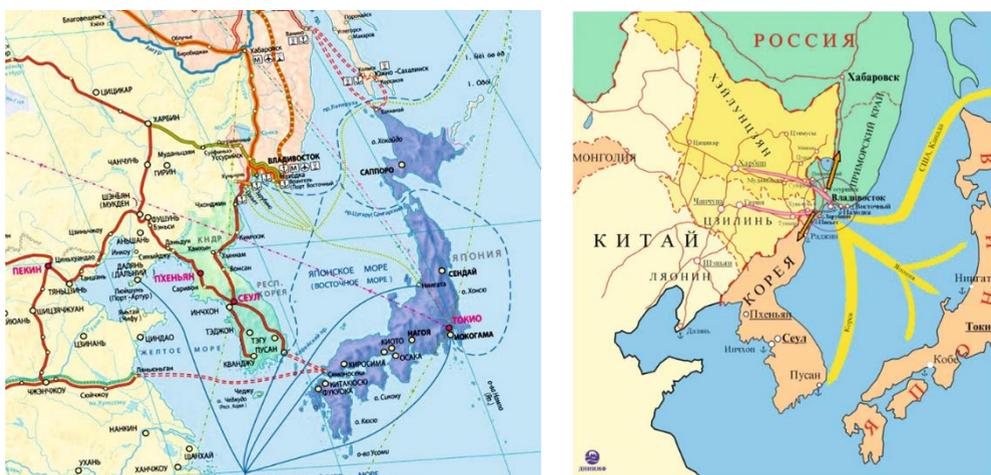


Рис. 5. Положение Владивостока и ТОР «Надеждинская» в системе междугосударственных связей

Из проблемных сторон отмечена недостаточная инфраструктурная обустроенность района ТОР, а также – возможная нехватка трудовых ресурсов – несмотря на их наличие в ближайших городах Владивостоке и Артеме, в Надеждинском районе.

Важнейшей частью ППР является обоснование приоритетных видов деятельности в ТОР. С этой целью нами были проанализированы имеющиеся Программы долгосрочного развития Дальневосточного региона, Приморского края, Владивостока и его агломерации. Кроме того, были привлечены имеющиеся инновационные разработки Институты ДВО РАН, ДВФУ и других научных центров [4]. На этой основе предварительно были выделены приоритетные виды деятельности в ТОР. Затем были оценены основные факторы их развития, потенциальные региональные и международные рынки (табл. 2).

Таблица 2

Перспективные виды деятельности в Надеждинской ТОР
и факторы их развития

Перспективные виды деятельности	Факторы, благоприятствующие развитию перспективных видов деятельности					
	Природно-ресурсный потенциал	Научно-технический потенциал	Кооперация с хозяйством окружения	Наличие профессиональных кадров	Ориентация на местные рынки (импорто-замещение)	Международные связи, в т.ч. экспортная ориентация
Производство строительных материалов	++	++	+	++	++	+
Пищевая промышленность, в т.ч. рыбообработка	+	++	+	++	++	+
Легкая промышленность (в т.ч. рабочая одежда)	-	+	+	+	++	-
Транспортно-логистические	+(территории)	++	++	++	++	+
Океаническое машиностроение, в т.ч. производство подвод. роботов	-	++	+	++	++	+
Оборудование для марикультуры (в т.ч. комплектное)	++	++	+	+	++	+
Теплоэнергетика (ТЭЦ на газе)	++(газ)	+	++	+	++	-
Глубоководный порт	++	+	-	++	++	++
Автомобильный завод (из Владивостока)	+(территории)	+	+	+	++	+

- роль фактора отсутствует; + роль фактора имеется; ++ роль фактора значительна.

Для ряда приоритетных видов деятельности проводился анализ мировых рынков, в основном в АТР. В итоге были выделены основные приоритетные виды деятельности, рекомендуемые в ТОР «Надеждинская» (табл. 3). Для их размещения, а также – для развития необходимой социальной инфраструктуры нами были выделены 7 площадок ТОР (рис. 6).

Важнейшим разделом ППР являются прогнозные оценки стадий развития ТОР и оценки экономической эффективности. Было выделено 3 стадии развития: 1-я – 2016-2018гг., 2-я – 2019-2028 гг., 3-я – 2029-2035 гг. и далее (рис. 7).

Для этих стадий рассчитывались прогнозные оценки числа резидентов по видам деятельности, инвестиции, рабочие места, возможные объемы бюджетного финансирования и налоговые поступления в бюджеты. Рассчитывались необходимые инвестиции в инфраструктуру, социальную сферу.

Таблица 3

Приоритетные крупные потенциальные резиденты ТОР «Надеждинская»

№	Потенциальные резиденты	Объем инвестиций, млрд. руб.	Число занятых, чел.
1	Крупный транспортно-логистический центр	4,5	1550
2	Кластер по конструированию и производству подводных роботов	65	1500
3	Автосборочная компания «Соллерс»	40	3000
4	Автомобильная компания по производству электромобилей	35	2500
5	Компания по производству комплектного оборудования для марикультуры	15	1200
6	Биотехнопарк (кластерного типа)	15	950
7	Компания по производству строительных конструкций для жилых домов	3,2	420
8	Фармацевтическая компания	25	900
9	Кондитерская компания	16	800
10	Глубоководный порт	150	500
11	Кластер по производству муки, хлебобулочных изделий и полуфабрикатов	20	1500
Итого:		388,7	14 820

Затраты на освоение объектов транспортной инфраструктуры						
	Площадки перспективного развития ТОР					
	№ 1 По ПП	№ 2	№ 3	№ 4 4а 4б 4в- 4г	№№ 5,6,7-	Итого в границах ППР
Строительство автомобильных дорог						
Стоимость	723	746	574	895	689	3627
млн. руб.						
Протяженность, км	6,3	6,5	5,0	7,8	6,0	31,6
Строительство железнодорожных путей						
Стоимость	550	190	600	375	300	2015
млн. руб.						
Протяженность, км	11,0	3,8	12,0	7,5	6,0	40,3

Транспортная инфраструктура (по СТП Приморского края, 2015 г.)

-  Автомобильные дороги федерального значения (реконстр.)
-  Автомобильные дороги регионального или межмуниципального значения (сущест.)
-  Автомобильные дороги регионального или межмуниципального значения (проект.)
-  Автомобильные дороги регионального или межмуниципального значения (реконстр.)
-  Железнодорожные пути (сущест.)
-  Железнодорожные пути (проект.)

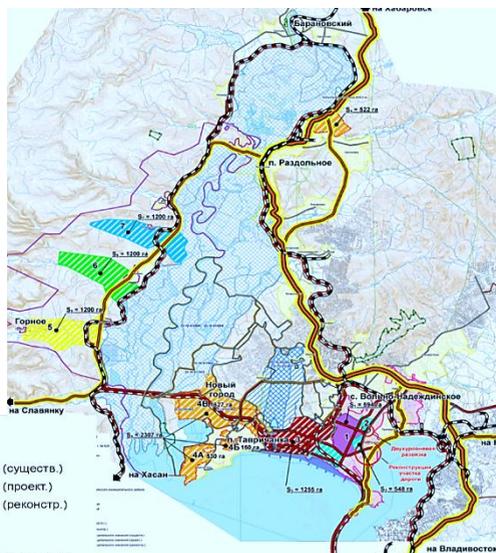


Рис. 6. Схема пространственного развития и создания транспортной инфраструктуры (оценки «Приморгражданпроекта»)

В целом, обобщенные прогнозные оценки показывают высокую возможную эффективность этой ТОР, например: привлечение до 15 руб. частных инвестиций на 1 руб. вложенных бюджетных средств в инфраструктуру. Сроки окупаемости инвестиций у резидентов могут составить 7-8 лет. В целом может быть создано до 60 тыс. рабочих мест, в том числе в новейших инновационных видах деятельности.

Таким образом, в ППР показано высокое социально-экономическое значение ТОР «Надеждинская» как в развитии агломерации Владивостока, так и Приморского края.

Для ТОР Дальнего Востока в целом нами были выделены основные проблемы их формирования и развития (табл. 4).

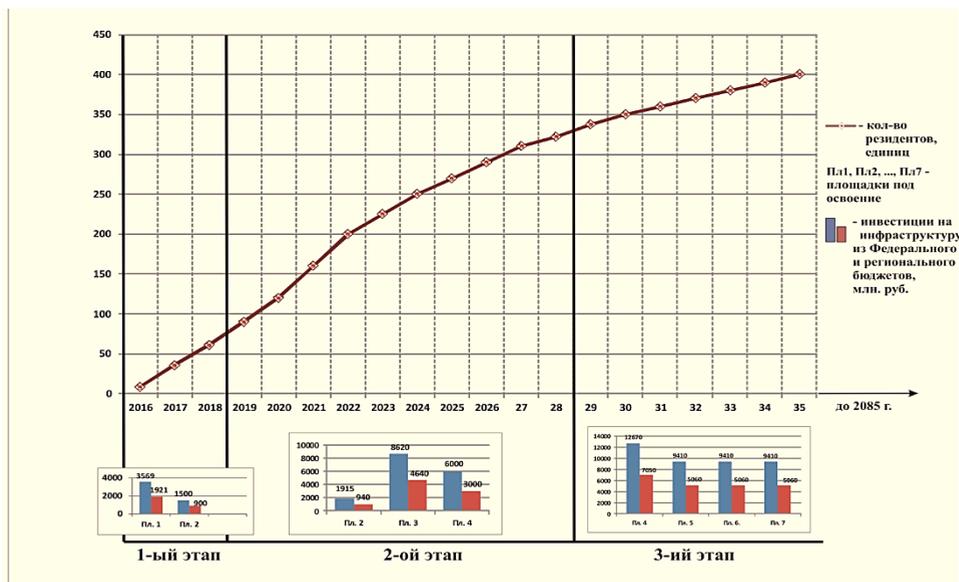


Рис. 7. Этапы развития ТОР «Надеждинская»

Общее управление формированием ТОР Дальнего Востока осуществляют АО «Корпорация развития Дальнего Востока», а также – Министерство РФ по развитию Дальнего Востока.

В перспективе в Тихоокеанской России возможно образование новых ТОР, в том числе – по глубокой переработке природных ресурсов суши и моря на основе новейших инновационных технологий. При этом необходимо использовать опыт формирования первых ТОР, в том числе и опыт разработки Плана перспективного развития ТОР «Надеждинская».

Таблица 4

Основные проблемы в формировании ТОР ДВ

Основные проблемы	Негативные последствия в пределах:	
	Соответствующих ТОР	В регионе (крае, области)
1. Сокращение налогооблагаемой базы из-за преференций в ТОРах.	-	+
2. Необоснованно выделенные приоритетные виды деятельности.	+	+
3. Конкурентные отношения существующих до формирования ТОР компаний с новыми резидентами.	-	+
4. Создание в ТОР видов деятельности (и резидентов), не являющихся приоритетными.	+	-
5. Невыполнение планов формирования инфраструктуры за счет федерального и региональных бюджетов.	+	-
6. Нарушение сроков ввода в действие новых производств (и видов деятельности) резидентами.	+	+
7. Нарушения пропорций в развитии социальной сферы.	+	+

+ - наличие проблемы;

-- отсутствие проблемы.

Литература

1. *Бакланов П.Я.* Территории опережающего развития: понятие, структура, подходы к выделению // Региональные исследования. 2014. № 3 (45). С. 12-19.
2. *Бакланов П.Я.* Метод «включения-исключения компонентов» в изучении структурных трансформаций в территориальных социально-экономических системах. В кн. «Геосистемы и их компоненты в северо-восточной Азии. Эволюция и динамика природных, природно-ресурсных и социально-экономических отношений. Владивосток, Дальнаука. 2016. С. 12-14.
3. *Бакланов П.Я.* Территориальные социально-экономические системы в региональном развитии // Известия РАН, сер. географ., 2017. № 4. С. 7-16.
4. Синтез научно-технических и экономических прогнозов: Тихоокеанская Россия – 2050. Под ред. П.А. Минакира, В.И. Сергиенко. Владивосток, Дальнаука. 2011. 912 с.
5. Тихоокеанская Россия в интеграционном пространстве Северной Пацифики в начале XXI века: опыт и потенциал регионального и приграничного взаимодействия (под ред. В.Л. Ларина). Владивосток, ИИАЭ ДВО РАН. 2017. 386 с.



**СИБИРСКОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ**



В.Н. Пармон¹
Вступительное слово

Уважаемые коллеги, добрый день!

По регламенту мы должны в 10 часов начинать наше общее собрание. В данный момент зарегистрировалось 53 % от полного состава членов Академии наук, состоящих в Сибирском отделении РАН. 55 % – это академики, 51 % – от членов-корреспондентов. В соответствии с действующим до настоящего времени регламентом общего собрания членов Сибирского отделения РАН, мы можем начинать наше собрание. Сразу напоминаю, что на прошлой неделе Президиумом отделения было принято судьбоносное предложение о возврате нашего общего собрания к двухпалатной системе. Я думаю, что это будет очень важно. По процедуре – с этим предложением мы должны пройти через уставную комиссию отделения, одобрить, если будет необходимо, изменения в уставе Сибирского отделения, и утвердить новое положение. Но это будет абсолютно правильно. Почему? Потому что интеллектуальный потенциал Сибирского отделения – не только члены Академии, но и докторский корпус, директорский корпус, наши профессора РАН. То есть мы должны работать, как и раньше, в расширенном масштабе.

То, что касается сегодняшнего заседания. Во-первых, я хотел бы напомнить, что сегодня – 7 ноября и 101 год со дня Великой октябрьской социалистической революции. Хотя этот день сейчас не считается официальным праздником для Российской Федерации, тем не менее для тех, кто находится в этом зале, вся молодость, детство, зрелый возраст проходил под лозунгом 7 ноября. Сейчас будет, по-видимому, использоваться новый термин: не Великая октябрьская революция, а Великая российская революция, имея в виду весь бурный период от Февральской революции до Октябрьской. Тем не менее общепризнано, что именно Великая российская революция осуществила огромное влияние на развитие всего мира, перевернув очень многие процессы мирового масштаба. Были и положительные, и отрицательные моменты, но тем не менее, это была, действительно Великая российская революция.

Далее то, что касается нашего собрания. Следует подчеркнуть, что у нас сегодня чисто научная сессия, поэтому в Президиуме всего два человека, представители членов РАН. Мы не отрывали от дел первых лиц субъектов федерации нашего Сибирского федерального округа. Тем не менее, на собрании присутствует большое число почетных гостей: Елена Алексеевна Пахомова, заместитель губернатора Кемеровской области по вопросам образования и науки и Игорь Вячеславович Лукьянов, заместитель министра промышленности и транспорта, инновационных технологий Омской области, Ольга Николаевна Мироненко, начальник отдела науки и высшего образования Министерства образования и науки Алтайского края, Александр Александрович Шелупанов, ректор Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Иван Варфоломеевич Ивонин, проректор Томского государственного университета, Анатолий Николаевич Николаев, проректор Северо-Восточного федерального университета, Александр Юрьевич Жариков, проректор по научной работе и инновациям Алтайского государственного медицинского университета, Станислав Олегович Хомутов, проректор по непрерывному образованию Алтайского государственного технического университета, Елена Сергеевна Ананьева, начальник научного управления Алтайского государственного технического университета, Мария Ивановна Ананич, помощник губернатора НСО по

¹ Председатель СО РАН, академик РАН

развитию выполнению проекта «Академгородок 2.0», Иван Алексеевич Гончаров, начальник департамента по инвестиционной политике и территориальному развитию представительства полномочного представителя президента в СФО, Валерий Александрович Шварцкопп, заместитель мэра города Новосибирска, Алексей Арсентьевич Колович, руководитель территориального управления ныне министерства науки и высшего образования как по СФО (либо как территориально было, так и есть), Александр Николаевич Люлько, начальник департамента промышленности, инноваций, предпринимательства мэрии города Новосибирска, Дмитрий Михайлович Оленников, глава администрации Советского района города Новосибирска.

Надо поприветствовать наших почетных гостей.

И пожелать всем участникам собрания, чтобы собрание было конструктивным, потому что есть много проблем для нашего обсуждения.

С.С. Гончаров¹

О международном математическом центре

Уважаемые коллеги, в этой аудитории рассказывать о важности математических исследований, я думаю, не стоит, поэтому сразу перейду к делу. Важность проблемы развития именно математических исследований, фундаментальных и прикладных исследований, к счастью, хорошо понимает и руководство нашего государства. И как раз по решению Правительства, была создана комиссия, которая подготовила предложения для Международного конгресса о проведении очередного математического конгресса в России, состоялись выборы и Санкт-Петербург из России был избран следующим местом проведения Международного математического конгресса в 2022 году. К этому конгрессу необходимо, естественно, чтобы наши математические исследования были достаточно хорошо представлены. Были приняты указ Президента в мае о национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 года и национальный проект «Наука» – сейчас как раз идет процесс его принятия, а также предложение Отделения бюро математики. Во всех этих документах обсуждается вопрос о создании международных математических центров.

В указе Президента наряду с задачами создания мегасайенс проектов особо выделена сеть международных математических центров и центров геномных исследований, оба эти постановления, очевидно, касаются Сибирского отделения. Создание международного центра является действительно необходимым фактором для того, чтобы обеспечить достаточный уровень именно международного сотрудничества и выведения на новый уровень тех математических исследований, которые ведутся у нас в Новосибирске. В Национальном проекте «Наука», о котором докладывал Хохлов, на 2019 год намечено создание международных математических центров – не менее четырех, и центров геномных исследований – не менее трех. Ясно, что эти две проблематики очень тесно взаимосвязаны. Бюро отделения математики рассматривало как раз те задачи, которые стоят по созданию этого центра, и прежде всего, отмечены такие стратегические цели этой работы: обеспечение передового уровня фундаментальных исследований в математике, обеспечение профессионального роста молодых исследователей в области математики, интеграция

¹ Директор Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, академик РАН

российских математических исследований в мировую науку. Имеется ряд других задач, но указанные выше как раз лежат в русле основных задач. Точно также принципиальной является позиция в отделении математики о том, что такие центры должны создаваться как раз на базе научных организаций, преимущественно фундаментального и поискового характера, признанных международным научным сообществом и соответствующими мировому уровню актуальности и значимости. И они должны создаваться, в первую очередь, на базе академических институтов, а не на базе образовательных организаций, а последние как раз рассмотрены, это проблемы создания в рамках научной программы «Наука» других направлений исследований. Это принципиальная позиция и это очень важно. Дело в том, что для развития математических исследований необходимо просто участие в том международном сотрудничестве, которое есть в математике. И для того, чтобы обеспечить участие зарубежных ученых в работе наших коллективов, и для того, чтобы наши участники могли участвовать в зарубежных конференциях необходимо дополнительное финансирование, которого сейчас институты математического профиля не имеют.

На последнем бюро были рассмотрены те основные параметры, которым должны удовлетворять организации, которые могут претендовать на создание международных математических центров. Опыт создания таких международных центров довольно большой, во многих ведущих странах такие математические центры созданы, и они успешно работают, и наши сотрудники участвуют в работе этих центров. Здесь перечислен ряд таких центров, в которых участвуют наши сотрудники. Остановлюсь на одном таком очень интересном центре, это – институт математики при Корнельском университете, который был создан Министерством обороны США. Министерство обороны финансировало фундаментальные исследования в области математики, которые были направлены на решение некоторых стратегических задач, которые стоят для развития проблем обороны. И ряд очень важных новых направлений как раз разрабатывались в рамках этого института. А потом, по результатам тех разработок и тех основ математических, которые были разработаны, создавались компании. Например, знаменитая компания «Одиссей», которая была создана по безопасности сетей, баз данных, которую возглавил один из известных профессоров математики, Ричард Платек. Он возглавил этот центр и активно работал с привлечением специалистов, фирма очень любопытная и интересная. В основу работы международных математических центров предложены разные модели, некоторые модели включают в себя именно такие интернациональные исследовательские группы, создающиеся на конкурсной основе, некоторые больше сосредоточены на проведении воркшопов по актуальным направлениям. В Обер Вольвахе (Германия) создан всемирно известный математический центр, он как раз сосредоточен на таких воркшопах. Недельный воркшоп, на котором проходят выступления ведущих ученых, а затем – работа в группах по решению различных фундаментальных задач.

У нас в стране такой опыт был, в 1988 году был создан Центр Эйлера, но, к сожалению, в 1990-е годы те задумки, которые были, сейчас частично утеряны. Утеряны были квартиры для того, чтобы приглашать зарубежных ученых, но, тем не менее, этот центр активно работает, и проходят очень интересные международные конференции на базе этого центра. А это – как раз здание того дворца, которое было передано этому центру, где проходят эти международные конференции.

Наш Новосибирский научный центр обладает очень хорошей базой для того, чтобы создать такой международный научный центр. Институт математики – это крупнейший институт, который имеет ряд ведущих научных школ и высокий уровень сотрудничества с зарубежными учеными, имеется очень тесное сотрудничество между институтами нашего отделения, нашего Объединенного ученого совета и институтами

других отделений, где используются как раз математические результаты. Очень эффективная модель налажена в сотрудничестве между математическими институтами, ННЦ и НГУ. Все базовые кафедры работают на базе наших институтов и все научные исследования на этих кафедрах ведутся в рамках институтов, в частности, научные исследования студентов, аспирантов, молодых преподавателей. Сам Институт математики обладает довольно солидным научным базисом: 6 академиков, 6 членов-корреспондентов, 7 профессоров РАН, 112 докторов наук, 149 кандидатов наук. Довольно большой процент молодых научных сотрудников в институте. По рейтингу Европейской научно-промышленной палаты за 2018 год мы делим с Институтом Стеклова первое место. Надо сказать, что в 2015 году у нас был уровень тоже 2А, но Институт Стеклова вырвался вперед. Дело в том, что финансирование этого института за счет гранта РФФИ, который был выделен институту – отдельный грант для развития фундаментальных исследований и плюс повышение финансирования в связи с повышением зарплат, которое было очень мощным, позволило привлекать довольно широкий круг исследователей. Тем не менее, мы занимаем высокий уровень второй среди наших ведущих математических институтов. Инфраструктура, которой обладает Институт математики, вполне достаточна для того, чтобы на первом этапе организовать работу и международных конференций, и международного сотрудничества. Есть служебные квартиры, есть места в общежитии СО РАН, но эти проблемы требуют дальнейшего решения, потому что той базы служебного жилья и той базы общежитий явно недостаточно. В рамках «Академгородок 2.0» будет строительство общежитий, я думаю, что эти общежития также могут стать основой для того, чтобы использовать их для привлечения молодых исследователей в те национальные группы. Есть еще отдельный модуль, который может быть использован как международный центр. Я встречался с руководителем департамента нашего министерства Швеца Кирием, там пока нет однозначной определенности как создавать эти международные математические центры. Либо это будут отдельные институты с отдельным юридическим лицом, либо все-таки это будут части институтов, которые ведут передовые научные исследования. Поэтому, если будет принято, что нужно создавать отдельные юридические лица, то есть отдельное помещение, на базе которого можно создать. Институты имеют достаточно широкое научное призвание, но надо сказать, что первая научная конференция была организована Сергеем Львовичем Соболевым и его научная школа до сих пор оказывает чрезвычайно мощное влияние на развитие математики в мире. Это – юбилейная конференция, на которую приехали представители со всего мира по математике, где обсуждался ряд актуальных проблем в математике. Это те конференции, которые проводятся на базе института. Институт действительно пользуется большой высокой оценкой исследователей. Ряд научных школ, которые были признаны и отмечены грантами президента, и те, которые имеют международное признание по ряду направлений. Это те научные награды, которые получали сотрудники нашего института. Институт издает шесть научных журналов, из них пять – это бумажная версия и один – электронная версия. Первые два: «Сибирский математический журнал» и «Алгебра и логика» имеют в Scopus ранг Q2. Это довольно высокий ранг для российских изданий. Все печатные издания переводятся и распространяются Springer за рубежом на английском языке. Международные гранты: у нас имеется ряд международных грантов, в частности, грант NSF, который у нас уже в течение 20 лет. Кстати, руководителем гранта сейчас является почетный доктор Сибирского отделения – профессор Джулия Найт. И я надеюсь, что в декабре она будет избрана президентом Ассоциации символической логики – это крупная международная математическая организация. Это те проекты, которые мы делали с

американскими и европейскими учеными. Этот проект был выполнен как раз с Доу М. Габаем, с английскими учеными и с азиатскими учеными. У нас был выполнен мегагрант и по результатам этого мегагранта создана лаборатория, которая занимается проблемами геометрической теории управления, это очень важное направление и очень важные задачи, в частности, имеются применения к задачам, связанным с новыми поколениями лекарственных препаратов. Но и для других задач управления это очень важное направление, оно как раз было реализовано на базе института. Есть гранты, которые выполняются с учеными из Китая, Словении, Индии, Австрии, Белоруссии, Узбекистана, Казахстана. Казахские гранты являются грантами не совместными с РФФИ, а отдельными грантами. На последней встрече с руководителем департамента РФФИ В.С. Косоуровым обсуждалось, что необходимо такие гранты формировать.

И теперь предложение по организации этого центра. Предлагается этот центр организовать на базе институтов, для этого есть вся необходимая инфраструктура, научно-методическое руководство работы по организации этого центра поручить Объединенному Ученому совету СО РАН по математике и информатике. Объединенному ученому совету по математике и информатике создать координационный совет под председательством председателя ОУСа, научного руководителя института, академика Юрия Леонидовича Ершова. И он будет состоять из директоров математических институтов, ректора НГУ, представителей ведущих математических научных школ, которые есть в ННЦ, приглашенных зарубежных ученых для разработки научных программ и проведения конкурсного отбора для работы этого международного центра. Также очень важно, что научные программы в этот центр будут отбираться на конкурсной основе.

По поводу тематики. Это, прежде всего, тематика тех ведущих научных школ, которые есть у нас в Новосибирском научном центре, а также те стратегические направления, которые сформулированы перед нашим научным сообществом – проблемы, связанные с цифровой экономикой и математическим моделированием. Это – проблемы больших данных, систем искусственного интеллекта и машинного обучения, потому что проблема работы с большими данными – сейчас очень актуальная проблема. В данный момент с Новосибирским университетом и Институтом систем информатики обсуждается и готовится проект создания международного центра по большим данным вместе с Университетом Шень Чень – это крупный университет, новый университет, который активно развивается, и его сотрудники имеют большой опыт работы с большими данными и той проблематикой, которая развивается в этом направлении.

Кстати, эти проблемы очень актуальны по проблемам геномных исследований. С академиком Николаем Александровичем Колчановым мы эти проблемы обсуждаем. У всех институтов математического профиля имеется давнее тесное сотрудничество с Институтом цитологии и генетики, как раз связанное с этими проблемами, некоторые заделы и работы уже выполнены, но здесь проблем непочатый край. Мы делали систему по распознаванию закономерностей и построению систем искусственного интеллекта и машинного обучения, проблемы там встречаются очень сложные и, в частности, очень сложные математические задачи, которые требуют именно интеграции разных направлений, разных научных школ для того, чтобы решать эти проблемы.

Д.М. Маркович¹

Предложения от институтов ОУС СО РАН по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления в перспективные планы комплексного развития СО РАН и новосибирского Академгородка в рамках Стратегии НТР Российской Федерации

Уважаемые коллеги, я хочу представить предложения от институтов, входящих в Объединенный ученый совет СО РАН по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления. Вообще было рассмотрено достаточно большое количество проектов, в том числе проекты междисциплинарные, которые касались многих направлений науки и развития технологий на стыке наук, но сегодня я остановлюсь на проектах, инициаторами которых являлись институты нашего Объединенного ученого совета. В этом списке шесть проектов, но по одному из них будет отдельный доклад, который сделает Михаил Петрович Лебедев.

Итак проект, который называется «Центр цифровой и пространственной энергетике», он был инициирован Институтом систем энергетики имени Мелентьева, целью проекта является инновационное стратегическое развитие энергетики России, регионов Сибири, Арктики, с учетом современных тенденций, направлений цифровизации, интеллектуализации и проблем, связанных с энергетической безопасностью и необходимостью интеграции энергетических систем. Сроки выполнения этого проекта: с 2019 до 2026 год. Инвестиции, которые требуются для того, чтобы проект заработал в полную силу – порядка 6 миллиардов рублей. Эти средства предполагается получить как из федерального бюджета, так из различных инновационных программ. Основная идея проекта: создание инфраструктуры для исследования и продвижения проекта формирования интегрированной интеллектуальной пространственной энергетики с ее вхождением в межгосударственное энергетическое объединение. К идеям проекта также можно отнести переход от традиционной сложившейся структуры генерации к более гибким сетевым конструкциям со взаимодействующими элементами, где каждый узел может являться не только поставщиком, но и потребителем энергии. Основные направления деятельности, которая предлагается развивать в этом проекте, это – разработка технологий для формирования интеллектуальной интегрированной инфраструктуры топливной энергетики с учетом энергетической безопасности, совершенствование систем энергообеспечения северных, арктических территорий, развитие территориально распределенной энергетической инфраструктуры, формирование газонефтехимического кластера с базой, прежде всего, касающейся Иркутской области и близлежащих регионов, а также – экологически чистое энергоснабжение Байкальской природоохранной территории, что является крайне важной задачей.

Подробно я не буду останавливаться на новизне проекта, на более детальном описании инфраструктурных задач. Скажу, что инновационный потенциал проекта заключается в коммерциализации и тиражировании решений на основе прототипа интегрированной интеллектуальной энергосистемы как структурного базового элемента умной среды на основе разрабатываемых передовых технологий эффективного энергетического использования твердых топлив, прежде всего, низкосортных топлив, что также характерно для данного региона. Важной составляющей, кроме того, является совершенствование режимов работы инновационного энергетического оборудования. Индустриальные партнеры этого

¹Главный ученый секретарь СО РАН, директор Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, член-корреспондент РАН

проекта показаны на этом слайде, их достаточно много и, вообще я должен сказать, что в этом проекте задействовано достаточно большое количество институтов Сибирского отделения.

Еще один проект, на котором хочу сосредоточиться, этот проект также рассматривался нашим ОУСом, но инициатором являлся Институт водных и экологических проблем СО РАН. Также исполнителями и основными участниками проекта являются Институт систем энергетики имени Мелентьева (Иркутск) и Алтайский государственный технический университет. Шесть лет – примерный срок выполнения этого проекта. Если говорить об основной инфраструктурной задаче этого проекта, она сводится к созданию сети научно-исследовательских испытательных полигонов для отработки способов и устройств малой альтернативной энергетики в различных природно-климатических условиях для территорий Сибири, прежде всего, Алтайского края. Инновационный потенциал можно свести к основным моментам, он касается малых энергетических установок круглогодичного действия, это новые конструкции ветроэнергетических установок, это новые конструкции солнечных миниэлектростанций и создание демонстрационного-экспериментального комплекса эффективных решений, который бы интегрировал различные технологии возобновляемой и альтернативной энергетики. Я должен сказать, что не существует стандартных типовых, эффективных решений использования возобновляемых источников энергии. Наиболее эффективным является создание систем, интегрирующих различные виды возобновляемой энергетики, адаптированных под конкретные условия, задачи, специфики потребителей, территории. Это одна из главных целей и особенностей данного проекта. Должен подытожить, что все задачи данного проекта планируется выполнять на базе существующих стационаров и новых полигонов в институтах СО РАН, и главным механизмом будет являться организация межинститутских групп внутри этого проекта. Поддержку данному проекту оказывает и большое количество органов власти, управления, общественных организаций, поэтому у нас есть уверенность, что этот проект будет успешно развиваться.

Еще один проект, очень важный для Сибирского отделения, называется «Комплексный сетевой центр перспективных технологий для R&D». Инициатором этого проекта являются томский Институт физики прочности и материаловедения и Институт химии нефти. Этот проект поддерживается администрацией Томской области. Должен сказать, что по выполнению третьего поручения Президента от 18 апреля, которое касается развития Сибирского отделения в интересах развития Сибирского федерального округа, Томская область совместно с СО РАН и Томским научным центром представили четыре проекта, они показаны на этом слайде. Это комплексные проекты, я на всех них останавливаться не буду, только скажу несколько слов по первому проекту, о котором и идет разговор. Итак, целью проекта является инфраструктурное, приборное, технологическое и IT обеспечение научных исследований и испытаний при разработке материалов для передовых производственных технологий, а также космической отрасли, ядерной энергетики и других секторов экономики, в том числе и для Арктического региона. Приоритетные направления Стратегии научно-технологического развития России, которые будут рассмотрены в рамках этого проекта, показаны на этом слайде. Базой для этого проекта является понимание того, что новые технологии производства перспективных материалов являются основой, залогом экономического роста. Здесь приведены соответствующие цифры, основной вывод заключается в том, что 70 % инноваций в производстве так или иначе связаны с прогрессом в науке о материалах.

Центр состоит из нескольких блоков, это: сетевой центр механических испытаний и динамического анализа материалов и конструкций, R&D сетевой центр

роботизированного высокопроизводительного 3D-производства, сетевой центр электронной микроскопии и структурного элементного анализа, распределенный полигон для испытания технологий увеличенной нефтеотдачи и сетевой центр перспективных технологий «Агробиофотоника».

Еще один блок изначально был в этом проекте, но по логике развития, продвижения, консультаций, он был включен в проект Красноярского федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр», это – сетевой испытательный центр узлов и изделий для космической отрасли. Вот некоторые цифры, целевые показатели проекта. Предполагаемый срок выполнения – также шесть лет, до 2024 года. Количество новых рабочих мест – более сотни. Предполагается, что объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, которые будут выполняться на этом оборудовании, превысит 250 миллионов рублей в год. Запланировано большое количество публикаций в рейтинговых журналах и высокие значения других показателей. Бюджет этого проекта складывается из собственных средств, то есть уже заработанных инициаторами проекта, прежде всего, Институтом физики прочности и материаловедения, а также из целевых средств из национального проекта «Наука», в частности федерального проекта по научной инфраструктуре, который является составной частью этого национального проекта. Базовая организация – Институт физики прочности и материаловедения. Этот институт является одним из лидеров в СО РАН, и особенно нужно отметить достижения в плане публикационной активности и издания одного из самых рейтинговых журналов «Физическая мезомеханика».

Еще один проект – достаточно крупный, инфраструктурный проект, «Междисциплинарный исследовательский комплекс аэрогидродинамики, машиностроения и энергетики», который инициирован четырьмя институтами Новосибирского научного центра. Этот проект входит в программу «Академгородок 2.0». Институты-инициаторы: Институт теоретической и прикладной механики, Институт теплофизики, Институт гидродинамики, Институт химической кинетики и горения. Проект ресурсоемкий, поскольку планируется создание мощной уникальной инфраструктуры с крупными стендами различной направленности. Структура этого исследовательского комплекса предполагает наличие пяти блоков: аэродинамический центр, центр перспективных энергетических технологий, центр геофизической гидродинамики, центр высокоэнергетических технологий новых материалов, центр физико-химических проблем горения и аэрозолей. Важно, что это будет единая инфраструктура с единой энергетикой – электрические мощности, сжатый воздух, оборотная вода, выполненная по новым современным требованиям, которых часто мы не можем добиться в рамках существующих возможностей институтов.

Аэрокосмические технологии, вызовы, которым будет отвечать данная составляющая новой инфраструктуры: создание конкурентоспособных глобальных аэрокосмических, транспортных систем, твердотопливные воздушнореактивные двигатели для гиперзвуковых скоростей полета, средства орбитального запуска, новые технологии и материалы для теплозащитных покрытий, материалы и технологии для борьбы с обледенением летательных аппаратов. В рамках этого блока планируется создание крупных установок с уникальными параметрами, не имеющих аналогов в мире, это – импульсная гиперзвуковая аэродинамическая труба, климатическая аэродинамическая труба с масштабами, которых сейчас в функционирующем виде не существует в РФ. Заделы каждого из институтов, которые участвуют в этом проекте, очень существенные.

Еще одним блоком данного проекта является создание инфраструктуры для ориентированных исследований, направленных на развитие газотурбодвигателе-

строения: это – разработка основ для газовых турбин транспортного и энергетического назначения с повышением эффективности этих установок и снижением вредных выбросов, прежде всего, за счет оптимизации малоэмиссионных камер сгорания, создание нового поколения камер сгорания. Задел наших институтов в этом направлении также является очень существенным в плане экспериментального обеспечения, в плане математического моделирования, но эта инфраструктура создается для того, чтобы сделать новый мощный шаг вперед с точки зрения обеспечения исследований. Важнейшим блоком проекта является блок, связанный с прикладной гидродинамикой: это экологические проблемы водных ресурсов – Мировой океан, замкнутые водоемы, это оборонные задачи военно-морского флота, новые технологии водного транспорта, повышение эффективности и безопасности гидроэнергетических систем и трубопроводов.

В рамках этого блока предполагается создание также нескольких крупномасштабных уникальных стендов: установка «Академ-Кориолис» с рекордными параметрами, не имеющими аналогов в мире и дополняющая собой весь существующий набор из нескольких уникальных установок в различных странах, которые закрывают широкий диапазон параметров. Исследовательский кавитационный стенд для широкого спектра применений как оборонного, так и энергетического значения.

И еще один большой блок в проекте связан с разработкой основ для новых технологий добычи и использования трудноизвлекаемых запасов углеводородов, а также блок по новым материалам. Проект предполагает использование как федеральных бюджетных средств, так и средств министерств, госкорпораций как оборонного, так и энергетического направления. Большое внимание мы уделяем образовательной программе в рамках этого центра, участниками проекта являются университеты-партнеры, здесь представлены только главные – Новосибирский госуниверситет, Новосибирский технический госуниверситет, Томский политехнический и Сибирский федеральный университет. Этот список также не полный, это только самые близкорасположенные мощные вузы. Таким образом, это – один из масштабных проектов программы Академгородок 2.0, уже готовится эскизный проект. Мы много внимания уделяем популяризации этого проекта.

Заканчивая, буквально два слова еще об одном проекте, который рассматривался на нашем Объединённом ученом совете. Он был инициирован Институтом теплофизики СО РАН и партнерами. Это – Центр отработки технологий обращения с твердыми коммунальными отходами, с извлечением вторсырья и производством синтез-газа и электроэнергии. Целью проекта является создание в Новосибирском Академгородке интеллектуальной системы обращения с отходами на уровне или выше мировых аналогов. Основными составляющими этого проекта являются технологии полностью автоматической роботизированной интеллектуальной системы сортировки твердых коммунальных отходов на основе нейронных сетей и плазменная газификация органического остатка с потреблением получаемого синтез-газа для энергетических нужд Академгородка. Окончательной целью является строительство завода по полной переработке твердых бытовых отходов. Этот проект – инвестиционный, и сейчас идет цикл переговоров с потенциальными инвесторами.

Спасибо за внимание, уважаемые коллеги.

В.И. Бухтияров¹, В.Я. Ракшун²

Направления программы синхротронных исследований Сибирского отделения Российской академии наук

Программа синхротронных исследований Сибирского отделения Российской академии наук основана на использовании имеющегося оборудования в ИЯФ СО РАН (накопители ВЭПП-3, ВЭПП-4), использовании зарубежной инфраструктуры источников синхротронного излучения (СИ) и создании в ближайшем будущем ЦКП «СКИФ» – источника синхротронного излучения поколения «4+» с энергией 3 ГэВ.

Цель программы

Инфраструктурная поддержка реализации научных программ научно-исследовательских организаций, высших учебных заведений и организаций реального сектора экономики. Резкое повышение объема и научного уровня проводимых исследований, повышение публикационной и внедренческой активности организаций. Стимулирование межинститутской кооперации, в особенности по крупным мультидисциплинарным проектам и кооперации с промышленными предприятиями для реализации полного цикла инновационных проектов от задачи до технологического процесса.

Необходимо отметить, что ни имеющегося оборудования, ни экспериментального времени, предоставляемой сибирским научным группам на зарубежных источниках СИ, недостаточно для комплексного развития целого класса исследовательских работ в различных областях науки и техники. Именно поэтому создание ЦКП «СКИФ», как части научно-инновационной инфраструктуры Академгородка, является важной задачей, результаты решения которой выйдут далеко за рамки Сибирского региона.

Основные направления работ ЦКП «СКИФ».

Основной задачей функционирования ЦКП «СКИФ» является инфраструктурное обеспечение фундаментальных и прикладных исследований научных, образовательных организаций, а также организаций реального сектора экономики с целью обеспечения лидерства в приоритетных областях научно-технологического развития Российской Федерации. Инфраструктура ЦКП «СКИФ» будет использоваться для выполнения обширных систематических исследований мирового уровня в различных областях физики, химии, материаловедения, молекулярной биологии, медицины и других дисциплин с акцентом на наиболее прорывные, экономически и социально-значимые мультидисциплинарные задачи.

В области фундаментальных наук приоритетными направлениями деятельности ЦКП «СКИФ» будут:

- развитие научных основ создания новых материалов с заданными свойствами (включая композитные и гибридные) на основе знания их структуры;
- исследование механизмов функционирования живых систем, в том числе развитие бионических подходов к дизайну технических систем;
- развитие методологии синхротронной диагностики для эффективной реализации инновационных технологических цепочек «от идеи к коммерческому продукту»;

¹ Директор Федерального исследовательского центра «Институт катализа СО РАН», академик РАН

² Помощник директора Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН по перспективным проектам, к.ф.-м.н.

- развитие экспериментальной аппаратуры и методик обработки больших данных, в том числе для исследования ударно-волновых воздействий на вещества и материалы;
- структурный дизайн новых лекарственных средств для борьбы с социально-значимыми заболеваниями, развитие методов медицинской диагностики и терапии;
- моделирование геологических и геофизических процессов в недрах Земли и планет;
- поиск решений глобальных экологических проблем, включая исследования материалов для альтернативной энергетики (водородной, солнечной, термоядерной).

Ключевыми партнерами ЦКП «СКИФ» в проведении фундаментальных исследований являются ведущие институты СО РАН, УрО РАН и ВУЗы, в том числе: ИЯФ СО РАН, ИК СО РАН, ИГМ СО РАН, ИНХ СО РАН, ИХТТМ СО РАН, ИХБФМ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, ИЦиГ СО РАН, ИТПМ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, ИСЭ СО РАН, ИФПМ СО РАН, ИЭФ УрО РАН, ИФМ УрО РАН, УГАТУ (Уфа), НГУ, НГТУ, ТГУ, ТПУ, ТГАСУ, СФУ, СибГУ, УрФУ, КФУ и другие.

В области поисковых и прикладных исследований в интересах организаций реального сектора экономики приоритетными направлениями деятельности ЦКП «СКИФ» будут:

- исследования новых функциональных материалов с целью оптимизации их эксплуатационных характеристик и создания на их основе высокотехнологичных устройств (сверхпроводимость, молекулярная электроника, спинтроника, топливные элементы, аккумуляторы, промышленные катализаторы, полимеры и композиты);
- медико-биологические исследования (поиск новых фармацевтических препаратов белковой природы, разработка новых систем целевой доставки лекарственных препаратов, исследования физиологического отклика на терапевтическое вмешательство методами «рентгеновского кино», исследования в области нейрофизиологии и когнитивных процессов, развитие технологий биосовместимых материалов для протезирования);
- развитие новых технологий обработки конструкционных материалов (электронная и лазерная сварка, аддитивные, ионно-плазменные технологии), формирования защитных износ-, коррозионно- и термостойких покрытий.

Ключевыми партнерами ЦКП «СКИФ» будут предприятия Государственных корпораций «Росатом», «Ростех», «ОДК», «ОАК», организации Роспотребнадзора, АО «Роснано», Газпром, СИБУР, ФГУП «ВИАМ», ЦИАМ им. П.И. Баранова, ОАО «Газэнергосервис», ПАО «Кузнецов», АО «ОДК-Пермские моторы», ОАО «СКБМ», ООО «Проект-Р», АО «Новосибирский Патронный Завод», «Уралвагонзавод», ООО «Катод», предприятия электронной (АО НПФ «Микран», АО «Элеси») и инструментальной («Томский инструмент», ООО «Мион», ООО «ТЭТА») промышленности, «Вектор-Бэст», OCSiAl, ООО «Велфарм» и другие организации.

Особое внимание в рамках реализации программы прикладных исследований ЦКП «СКИФ» будет уделяться внедрению научных результатов в организациях реального сектора экономики (нефтегазовая промышленность, экологический катализ, фарма, машиностроение, добывающая промышленность и другие).

Важной частью научной программы ЦКП «СКИФ» будет решение стратегических задач, связанных с обеспечением национальной безопасности и повышением обороноспособности России. Работы будут осуществляться в интересах предприятий Государственной корпорации «Росатом», Российских федеральных ядерных центров ВНИИТФ (г. Снежинск) и ВНИИЭФ (г. Саров)

совместно с ИГиЛ СО РАН (г. Новосибирск), ФГУП «ВИАМ» (г. Москва) совместно с ИТПМ СО РАН (г. Новосибирск):

- выявление кинетических параметров и химических механизмов быстрых и сверхбыстрых неравновесных процессов (взрыв, фронт горения, ударная волна, мощное импульсное лазерное воздействие);
- структурная диагностика конструкционных материалов, предназначенных для работы в экстремальных условиях (авиастроение, космос, материалы для атомной и термоядерной энергетики), анализ механизмов разрушения и деградации (развитие напряжений, циклические деформационные нагрузки, усталостное разрушение, возникновение трещин, трение и износ, радиационное охрупчивание, коррозия) с целью повышения их эксплуатационных характеристик;
- повышение радиационной стойкости элементной базы и изделий микроэлектроники для критических приложений (космос, атомная и термоядерная энергетика);
- повышение удельной энергонасыщенности материалов и композитов.

Будет реализована обширная программа, нацеленная на исследования объектов высокой степени биологической опасности (до III класса включительно), разработку новых высокоэффективных вакцин, антибактериальных и противовирусных препаратов, совместно с ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора (р.п. Кольцово, НСО).

ЦКП «СКИФ» востребован ведущими сибирскими ВУЗами (включая НГУ, НГТУ, ТГУ, ТПУ, СФУ, СибГУ и др.) для реализации программ подготовки научных и инженерно-технических специалистов высокой квалификации с использованием самой передовой исследовательской инфраструктуры, нацеленной на получение результатов мирового уровня. Студенты инженерного профиля будут привлекаться к проектированию нового оборудования синхротронных станций для наиболее быстрого и эффективного внедрения в практику.

Общая потребность в проведении исследований со стороны научно-исследовательских организаций, высших учебных заведений и организаций реального сектора экономики составляет:

- в области образовательной деятельности 15 %
- в интересах реального сектора экономики 50%.
- в области фундаментальных наук 35%.

Приборы и методы экспериментальной физики, развиваемые на экспериментальных станциях ЦКП «СКИФ», позволят добиться существенного продвижения в реализации ключевых технологий Российской Федерации, в том числе:

- технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику;
- технологии создания новых лекарственных препаратов (необходимый этап работ – рентгеноструктурный анализ взаимодействия лекарственных комплексов с белками);
- технологий мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации её загрязнения;
- технологий создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии;
- технологий создания и использования новых функциональных и конструкционных материалов и покрытий, в том числе наноматериалов и композитов;
- технологий аддитивного производства и методов, обеспечивающих переход на следующий технологический уклад;

- технологий поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи;
- военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;
- генетические, робототехнические, информационные, когнитивные технологии и многие другие.

Важной особенностью исследовательской инфраструктуры на базе источников СИ является возможность своевременного обновления экспериментальных станций и методов. Центр коллективного пользования в данном случае выступает как высокоадаптивный инструмент, который может быть относительно легко переконфигурирован или модернизирован для решения новых фундаментальных и прикладных научных задач. Именно поэтому возможности ЦКП «СКИФ» принципиально не ограничены только в решении перечисленных актуальных задач. Необходимо понимать, что с расширением круга фундаментальных проблем материаловедения, химии, медицины, биологии, геологии, катализа и других областей наук инструментарий ЦКП «СКИФ» сможет оставаться адекватным поставленным задачам.

Необходимо также отметить, что в настоящее время продолжается процесс формирования портфеля научных задач ЦКП «СКИФ» с привлечением научно-исследовательских организаций, высших учебных заведений и организаций реального сектора экономики.

Описание объекта ЦКП «СКИФ»

Объект ЦКП «СКИФ» представляет собой единый комплекс зданий, инженерного и технологического оборудования, обеспечивающий выполнение международных научных исследований на пучках синхротронного излучения.

Здания, сооружения и технологическое оборудование разделяются на основные и вспомогательные. Основное здание представляет собой круг диаметром около 220 метров, внутри которого находится кольцевой ускорительный комплекс, формирующий пучки электронов с заданными характеристиками. Ускорительный комплекс состоит из линейной системы инжекции электронов, бустерного синхротрона (бустера – для предварительного формирования пучков электронов) и основного кольца диаметром около 150 метров. На основном кольце ускорительного комплекса устанавливаются специализированные устройства (вставные устройства), генерирующие синхротронное излучение. Ускорительный комплекс окружён стеной биологической защиты для защиты персонала от воздействия радиации.

Синхротронное излучение по специальным каналам, касательным к основному кольцу, выводится в экспериментальный зал, шириной около 30 метров. При этом максимальная длина каналов вывода излучения достигает 70 метров. В экспериментальном зале на каналах вывода СИ в специализированных радиационно защищённых помещениях (хатчах) размещается основное оборудование экспериментальных станций. К фундаменту ускорительного комплекса и экспериментального зала предъявляются особые требования для обеспечения необходимой стабильности пучков СИ на экспериментальных станциях. К экспериментальному залу прилегают корпуса, имеющие независимый фундамент. Эти корпуса предназначены для размещения специализированных экспериментальных станций длиной до 120 метров. Также к экспериментальному залу примыкают административный корпус с офисными помещениями и лабораторный корпус, в котором размещается вспомогательное оборудование для пробоподготовки и проведения сопутствующих исследований.

Вспомогательные здания и сооружения необходимы для создания технологической инфраструктуры ЦКП «СКИФ», функционирования ускорительного комплекса, для

обеспечения безопасности на объекте, а также для максимально удобной и комфортной работы учёных-пользователей СИ, в том числе, зарубежных.

Пользовательская инфраструктура

В составе пользовательской инфраструктуры ЦКП «СКИФ» предусмотрено создание 30 исследовательских станций, 14 из которых будут использовать излучение вставных устройств, размещаемых в прямолинейных участках основного кольца (ондуляторов, вигглеров, шифтеров), а 16 будут размещаться на пучках из поворотных магнитов. Точные характеристики излучателей должны быть определены в рамках проектирования.

По результатам анализа потребностей потенциальных пользователей синхротронного излучения в Сибирском регионе был предложен список из шести экспериментальных станций (далее – станции первой очереди). Этот список был рассмотрен и утверждён на заседании Научно-координационного совета ЦКП «СКИФ» (Протокол №1 от 11.05.2018). Список станций первой очереди составлен с учетом наличия широкого круга актуальных задач в различных областях физики, химии, биологии, геологии и катализа, а также научных групп, заинтересованных в проведении соответствующих исследований и обладающих достаточным опытом.

К станциям первой очереди отнесены (рис. 1):

- Станция 1-1 «Микрофокус». Станция «Микрофокус» использует сочетание уникального преимущества источника СИ поколения «4+» – сверхмалого эмиттенса – и последних достижений рентгеновской оптики для решения приоритетных задач фундаментальной и прикладной науки, требующих применения высокоинтенсивных сфокусированных пучков СИ;

- Станция 1-2 «Структурная диагностика». Экспериментальная станция предназначена для решения широкого спектра исследовательских и технологических задач, связанных с использованием методов рентгеновской дифракции. В основе концепции станции лежит реализация комплексного подхода к структурным исследованиям синтетических и природных объектов, на основе наиболее полного набора экспериментальных методик, использующих уникальные преимущества современного источника СИ высокой яркости, передовых рентгенооптических решений и новейших систем детектирования, в том числе отечественной разработки;

- Станция 1-3 «Быстропротекающие процессы». Экспериментальная станция предназначена для исследования быстропротекающих процессов в веществе, а также поведения вещества и материалов в условиях мощных импульсных воздействий лазерного излучения, взрыва, ударных волн, плазмы и направленных потоков частиц. Измерительное оборудование будет оптимизировано для проведения рентгенографических и дифракционных измерений с высоким временным разрешением вплоть до регистрации сигнала с каждого банча;

- Станция 1-4 «XAFS-спектроскопия и магнитный дихроизм». Станция предназначена для проведения экспериментов с использованием спектроскопии рентгеновского поглощения, рентгеновской эмиссионной спектроскопии и спектроскопии магнитного дихроизма;

- Станция 1-5 «Диагностика в высокоэнергетическом рентгеновском диапазоне». Разрабатываемый проект станции станет базой для передовых научных экспериментов в областях материаловедения, геофизики, археологии, палеонтологии и медицины. На станции будет реализовано ряд исследовательских методик с использованием высокоразрешающей интроскопии, дифракции и рассеяния рентгеновских лучей.

- Станция 1-6 «Электронная структура». Станция предназначена для исследования электронной структуры на поверхности, в объеме и на границах раздела

фаз в кристаллических, поликристаллических, порошкообразных материалах, пленках и многослойных покрытиях твердых тел в широком энергетическом диапазоне первичного излучения.



Рис. 1. Схема размещения экспериментальных станций первой очереди ЦКП «СКИФ»

Станции первой очереди будут проектироваться с учетом возможности перестройки инструментов формирования пучков фотонов и систем детектирования для эффективного сочетания наиболее востребованных экспериментальных методик. Объект ЦКП «СКИФ» создаётся таким образом, чтобы при вводе в эксплуатацию пучки синхротронного излучения из устройств генерации наблюдались системами детектирования 6 экспериментальных станций первой очереди. Для расширения исследовательских возможностей пользовательской инфраструктуры и реализации максимально широкого круга рентгеновских методик в процессе эксплуатации объекта планируется разработать и создать ещё 24 экспериментальных станции (станции второй очереди).

Основная доля вспомогательной инфраструктуры для наиболее эффективной работы центра размещается в специализированном лабораторном комплексе (ЛК), примыкающем к основному кольцевому зданию. В ЛК размещаются механические мастерские, физические и химические лаборатории, включая чистые комнаты, оснащенные специальным оборудованием, а также офисные и учебные помещения.

Функционирование ЦКП «СКИФ»

ЦКП «СКИФ» после вывода на проектные параметры должен работать в круглосуточном режиме 7 дней в неделю за исключением периодов проведения планово-профилактических работ и работ по ускорительной физике по заранее согласованному графику. Прогнозируемое время работы ускорительного комплекса для пользователей - до 6500 часов в год. Доступ пользовательских групп к экспериментальным станциям первой очереди будет предоставляться по мере их ввода в эксплуатацию. Всего в составе шести станций первой очереди предусмотрено 20 секций, 12 из которых могут работать параллельно. Аналогичная схема будет использоваться для станций второй очереди.

Пучковое время на экспериментальных станциях ЦКП «СКИФ» будет предоставляться пользовательским группам по итогам конкурса научных заявок в

зависимости от полученных экспертных оценок. Конкурс заявок будет проводиться раз в полгода. Первый сбор заявок запланирован на 2022 год. Для проведения экспертизы заявок будут сформированы экспертные советы по каждой предметной области. Экспертиза должна быть профессиональной и объективной. Необходимо обеспечить прозрачность процедуры экспертизы и ее независимый контроль. Основой экспертной оценки должны стать такие критерии, как актуальность предложенной тематики, техническая реализуемость эксперимента, профессиональный уровень заявителя, наличие опыта использования синхротронных источников, наличие публикаций в предметной области, в том числе по предыдущим заявкам, выполненным на ЦКП «СКИФ» (отсутствие отчетов или публикаций по предыдущим заявкам может быть достаточной причиной отказа в предоставлении пучкового времени). Персональный состав экспертных советов по оценке заявок будет формироваться на основе предложений Институтов СО РАН и утверждаться на заседании НКС ЦКП «СКИФ» закрытым голосованием.

После завершения синхротронных экспериментов пользовательские группы должны предоставить технический отчет в течение месяца, а также предоставить более развернутый научный отчет для ежегодного сборника отчетов. Пользовательские группы должны предоставлять информацию в Отдел по работе с пользователями ЦКП «СКИФ» обо всех статьях, конференционных докладах, зарегистрированных РИД, квалификационных студенческих работах, диссертациях и пр. с использованием научных результатов, полученных в ЦКП «СКИФ». Все группы пользователей имеют право участия в ежегодных Конференциях пользователей ЦКП «СКИФ».

Среднесрочные программы проведения научных исследований будут формироваться на ежегодных Конференциях пользователей ЦКП «СКИФ» с учетом предложений Международного научно-консультационного совета (SAC) и утверждаться на заседании НКС ЦКП «СКИФ».

Первая программа научных исследований ЦКП «СКИФ» на начальный этап работы Центра будет сформирована на основе программ использования ЦКП «СКИФ» отдельными организациями, в установленном порядке рассмотренных и утвержденных Учеными советами соответствующих институтов.

ЦКП «СКИФ» несет ответственность за:

- обеспечение работоспособности ускорительного комплекса и экспериментальных станций в периоды, отведенные на пользовательские смены;
- организацию экспериментальной работы на оборудовании станций и Лабораторного комплекса, доступность вспомогательного оборудования и расходных материалов, если это было согласовано в одобренной заявке на пучковое время, своевременное проведение ремонтных работ;
- календарное планирование рабочих смен и визитов пользовательских групп;
- обеспечение соблюдения требований по охране труда на рабочих местах ЦКП «СКИФ»;
- проведение инструктажа по использованию экспериментальных станций для пользователей в объеме, достаточном для самостоятельной работы;
- развитие экспериментальных возможностей станций, реализацию новых методик и режимов измерения, проектирование и создание новых станций в соответствии с потребностями пользовательского сообщества;
- работу по популяризации результатов синхротронных исследований, подготовку кадров высокой квалификации (в кооперации с ВУЗами-партнерами), привлечению новых пользователей, облегчению доступа пользователей к оборудованию.

Результаты реализации проекта

Создание и использование современной научно-исследовательской инфраструктуры позволит совершить качественный скачок по следующим направлениям:

- *технологический эффект* – создание и развитие отечественных технологий в области силовой электроники, высокочастотных систем, систем автоматизации и контроля, систем высокоточного позиционирования, сверхпроводящих систем и многих других. Новые технологии могут быть применены в авиа-, судо- и машиностроении, на предприятиях добывающей и перерабатывающей, микроэлектронной и химической промышленности, энергетике и ВПК;

- *социальный эффект* – формирование конкурентной инфраструктуры и среды, соответствующей современным стандартам научных исследований, создание новых рабочих мест, укомплектованных молодыми кадрами, и связанное с этим развитие социальной инфраструктуры региона;

- *экономический эффект* – развитие транспортной, энергетической и технологической инфраструктуры Сибирского региона. Внедрение новых и импортозамещающих эффективных технологий. Трансфер передовых технологий отечественным субподрядным организациям;

- *научный эффект* – получение новых фундаментальных знаний о строении и свойствах вещества на микро- и наноуровне для решения задач биологии и медицины, химии и катализа, энергетике будущего и других областей;

- *стратегический эффект* – новый исследовательский центр позволит сконцентрировать, закрепить и развить интеллектуальные и инфраструктурные ресурсы в Сибирском регионе, обеспечить устойчивость позиций российских научных, образовательных организаций и производственных компаний на глобальном рынке знаний и технологий.

М.И. Элов¹

Обзор и анализ проектов комплексного развития Сибирского отделения РАН в области наук о Земле

Уважаемые коллеги, добрый день! В процессе работы Объединенного ученого совета СО РАН наук о Земле мы рассматривали достаточно много проектов разного масштаба, разного уровня. Есть два проекта по наукам о Земле, которые рассматривались на президиуме, были утверждены как перспективные:

- ТРИЗ Центр - Национальный междисциплинарный исследовательский центр нетрадиционных и трудно извлекаемых запасов и ресурсов углеводородов, ИНГГ СО РАН;

- Центр исследований минералообразующих систем, ИГМ СО РАН.

Я на них не буду останавливаться, поскольку детальное их рассмотрение происходило уже неоднократно, а обращусь к анализу других проектов, которые представлены институтами.

¹Председатель Объединенного ученого совета СО РАН наук о Земле, главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, академик РАН

Я решил свое выступление построить несколько иначе, чем те, которые мы сегодня слышали. Я не буду останавливаться на научной состоятельности этих проектов, а экспертиза показала, что все они достаточно интересные. В основе их лежат интересные и полезные научные исследования. Мне хотелось бы взглянуть на эти проекты с точки зрения их реализуемости. Вот здесь представлены 17 проектов:

1.	5/4	Центр компетенций «Горно-геологические науки как основа сбалансированного развития и территориальной целостности Сибири» ИГМ, ИНГГ, ИГД, ИГАБМ	1.6
2.	6/3	Системный центр фундаментальных и прикладных исследований по проблеме расширения сырьевой базы нефтегазового комплекса в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия) ИНГГ, ИЗК, ИПНГ	3.6
3.	1/1	Байкальский музей естественной истории БМ	
4.	2/1	Международный центр комплексных исследований горных территорий «Большой Алтай» ИВЭП	12
5.	3/3	Обновление и развитие научного флота, его инфраструктуры в бассейнах рек Обь, Лена и озера Байкал ИВЭП, ИНГГ, ЛИН	16.3
6.	5/3	Телецкий центр междисциплинарных экологических исследований ИВЭП, ИГМ, ИНГГ	9
7.	5/3	Научно-исследовательский центр «Ледовый комплекс Северо-Востока России: состояние, эволюция, риски освоения и криогенные ресурсы» ИМЗ, ИГАБМ, ИПНГ	4.3
8.	1/1	Сибирский центр геолого- геофизических и геоэкологических исследований ГИН	30
9.	3/1	Сетевой центр стратегического анализа и пространственного развития приграничных территорий востока России ИПРЭК	18.8
10.	2/1	Центр «Научное обеспечение развития и эффективного использования минерально-сырьевой базы Забайкальского края» ИПРЭК	2.5
11.	10/3	Великая река Лена: природа, человек, хозяйство – прошлое, настоящее и будущее ЯНЦ, ИМЗ, ИГАБМ, ИПНГ	23.2
12.	1/1	Новые технологии и материалы для строительства сооружений и дорог на основе кремнийсодержащих пород. В рамках международного научно-образовательного интеграционного проекта: Ресурсы холодного мира ТюмНЦ	
13.	17/8	Технополис «Ресурсы Сибири для будущих поколений» ИНЦ, ИЗК, ИГ, ИГХ, ИГМ, ИНГГ, ГИН, ИГАБМ, ИМЗ	4.9
14.	12/4	Геопарк «Байкал» (по стандартам ЮНЕСКО) ИНЦ, ИЗК, ИГ, ИГХ, БМ	2.7
15.	1/1	Центр инновационных технологий безопасного эффективного освоения месторождений угля ФИЦ УУХ	6.4
16.	3/2	Инновационный центр горно-шахтного оборудования, обеспечивающий повышение производительности и безопасности труда в угольной промышленности ФИЦ УУХ, ИГД	7.5
17.	3/2	Кузбасский кластер производителей горношахтного оборудования: Робототехнические системы для эффективной и безопасной отработки полезных ископаемых подземным способом ФИЦ УУХ	5.8

По каждому из проектов указаны организации-исполнители, и жирным шрифтом выделены организации, которые являются инициаторами. Во втором столбце в числителе показано число организаций, которые принимают участие в этих проектах, а в знаменателе – число организаций, относящихся к ОУС СО РАН наук о Земле. В правом столбце показано отношение суммы заявленных инвестиций к годовому бюджету инициатора того или иного проекта. Вы видите, что эти цифры очень сильно изменяются, начиная с относительно небольших коэффициентов, если говорить по первому, самому верхнему проекту, это коэффициент 1,6. А по восьмому из этих проектов – коэффициент 30. Есть коэффициенты в промежутке. То есть, все коэффициенты находятся вот в таком большом диапазоне, и совершенно ясно: чтобы реализовать проект силами института с таким коэффициентом, вообще говоря, нужно выполнить довольно много условий.

Поскольку эти проекты можно считать инвестиционными, я попытался найти определение инвестиционных проектов, их известно очень много. Их главная цель – это осуществление вложений, способствующих воплощению основной инвестиционной идеи. Основная инвестиционная идея в подавляющем большинстве проектов – обновление инфраструктуры и оборудования для того, чтобы повысить уровень научных исследований. В инвестиционных проектах классических он должен обязательно включать обоснование экономической целесообразности, объёмы и сроки осуществления этих инвестиций, проектно-сметную документацию, описание практических действий по реализации инвестиций. К сожалению, представленные инвестиционные проекты, о которых я говорю, не содержат ни один из обязательных разделов. Все эти проекты содержат научные идеи, содержат весомые научные результаты, но не содержат этих обязательных пунктов. Еще раз повторяю – соотношение запрашиваемых инвестиций в бюджет инициаторов колеблется в диапазоне от 1.6 до 30, и, по существу, это указывает необходимую степень обновления инфраструктуры тех или иных институтов, заявивших эти проекты.

Естественно, возникает вопрос, что же делать в этом случае. Я сформулировал некоторые предложения, которые, на мой взгляд, помогут те самые инвестиционные проекты, которые заявляются, перевести в разряд реальных. Первое, если говорить по всему Сибирскому отделению – необходимо сформировать пул инвесторов на базе существующих соглашений о сотрудничестве Сибирского отделения с крупными корпорациями. У нас таких соглашений довольно много, и эти корпорации могут являться теми самыми конкретными инвесторами, к которым можно обращаться за инвестициями. Второе – необходимо разработать набор типовых документов для этих проектов, потому что, к сожалению, эти проекты пишутся так, что иногда совершенно непонятно, когда они будут реализованы, какая будет экономическая эффективность. Третье – для того, чтобы это выглядело как реальный инвестиционный проект необходимо в Сибирском отделении создать межинститутскую группу с участием Экономического факультета НГУ, которая бы помогала нашим институтам обосновывать экономику этих проектов. Реализация данных предложений поможет институтам перенести предлагаемые проекты в разряд реально инвестиционных.

По ОУСу я предложил, во-первых, включать в проекты институты из других региональных отделений. Вы знаете, что очень долгое время мы в междисциплинарных проектах в первую очередь ориентировались на институты Сибирского отделения, ибо тогда все деньги были в Сибирском отделении, теперь это не так. И мне кажется, что в этих междисциплинарных проектах пора переходить и к сотрудничеству с другими региональными отделениями. Тем более что и решения по перенесению административных границ подталкивают нас к этому. Конечно, необходимо объединять небольшие однородные проекты в междисциплинарные.

Очень важный вопрос, который практически нигде не затрагивается, кроме тех крупных проектов, о которых сегодня докладывалось, – это разработать реальную схему управления проектами. Потому что существует огромное количество нормативных документов о том, как нужно работать с финансовыми средствами.

Очень важно соотнести уровень финансовых запросов, исходя из наличных научных сил. Если институт заявляет, например, запрос на 1,5 миллиарда инвестиций, и при этом его собственный бюджет составляет 200 миллионов, понятно, что наличными научными силами освоить эти 1,5 миллиарда просто нереально. Наконец, последнее, это мое лично мнение – мне кажется, что нужно отказаться от несбыточной мечты о значительных дополнительных бюджетных вливаниях, а рассчитывать на инвесторов, которые живут в реальном мире бизнеса.

Здесь я просто скомпоновал все предложения, которые есть, в гораздо меньшее число проектов, которые могут быть реализованы.

1.	5/4	Центр компетенций «Горно-геологические науки как основа сбалансированного развития и территориальной целостности Сибири» ИГМ, ИНГГ, ИГД, ИГАБМ
2.	22/11	Системный центр фундаментальных и прикладных исследований по проблеме расширения сырьевой базы нефтегазового комплекса в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия) ИНГГ, ИЗК, ИПНГ Технополис «Ресурсы Сибири для будущих поколений» ИНЦ, ИЗК, ИГ, ИГХ, ИГМ, ИНГГ, ГИН, ИГАБМ, ИМЗ
3.	7/3	Международный центр комплексных исследований горных территорий «Большой Алтай» Телецкий центр междисциплинарных экологических исследований ИВЭП, ИГМ, ИНГГ
4.	5/3	Научно-исследовательский центр «Ледовый комплекс Северо-Востока России: состояние, эволюция, риски освоения и криогенные ресурсы» ИМЗ, ИГАБМ, ИПНГ
5.	5/2	Сетевой центр стратегического анализа и пространственного развития приграничных территорий востока России Центр «Научное обеспечение развития и эффективного использования минерально-сырьевой базы Забайкальского края» ИПРЭК Сибирский центр геолого- геофизических и геоэкологических исследований ГИН
6.	13/5	Великая река Лена: природа, человек, хозяйство – прошлое, настоящее и будущее ЯНЦ, ИМЗ, ИГАБМ, ИПНГ Обновление и развитие научного флота, его инфраструктуры в бассейнах рек Обь, Лена и озера Байкал ИВЭП, ИНГГ, ЛИИ
7.	1/1	Новые технологии и материалы для строительства сооружений и дорог на основе кремнийсодержащих пород. В рамках международного научно-образовательного интеграционного проекта: Ресурсы холодного мира ТюмНЦ
8.	13/4	Геопарк «Байкал» (по стандартам ЮНЕСКО) ИНЦ, ИЗК, ИГ, ИГХ, БМ Байкальский музей естественной истории БМ
9.	3/2	Центр инновационных технологий безопасного эффективного освоения месторождений угля Инновационный центр горно-шахтного оборудования, обеспечивающий повышение производительности и безопасности труда в угольной промышленности Кузбасский кластер производителей горношахтного оборудования: Робототехнические системы для эффективной и безопасной отработки полезных ископаемых подземным способом ФИЦ УУХ, ИГД

А.Э. Конторович¹

Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века

Нефтяная и газовая промышленность – базовые отрасли экономики современной России. Нефтегазовый комплекс России формирует от 35-36% в кризисные годы и до 50-52% при стоимости нефти более 60 \$ за баррель бюджета Российской Федерации. Председатель Правительства России Д.А. Медведев недавно отметил, что нефтяники выплачивают в бюджет в среднем две трети своей выручки. Именно это в значительной степени обеспечивается решение национальных задач. Стабильная работа нефтегазового комплекса является и на десятилетия вперед будет являться одним из ведущих факторов роста ВВП на душу населения в РФ, повышения роста и качества жизни населения страны, выполнения программы реиндустриализации, создания новых высокотехнологичных отраслей экономики, источником инвестиций в науку, образование, здравоохранение. ТЭК России обеспечивает:

- потребности РФ в нефти, газе, угле,
- 22,5 - 25,0 % ВВП РФ,
- 56 - 60 % экспорта РФ.

В регионах интенсивного нефтегазового комплекса (ЯНАО ХМАО, Тюменская область, юг,) высокий уровень рождаемости и низкий уровень смертности. А это регионы с предельно суровым климатом. Принято считать, что они некомфортны для проживания человека...

Стратегические документы Российской Федерации (Стратегия социально-экономического развития, Стратегия национальной безопасности, Стратегия научно-технологического развития) среди приоритетов социально-экономического и научно-технологического развития экономики выделяют рост энерговооруженности и объемов выработки энергии, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников энергии. Для определения путей достижения этих приоритетов необходимо объективно оценить историю развития и современное состояние нефтегазового комплекса России.

Парадигма развития нефтяной промышленности России

К концу двадцатых годов прошлого столетия на огромной территории Советского Союза месторождения нефти были известны только в Азербайджане и на Северном Кавказе (районы Грозного и Майкопа). Для развития и индустриализации страны нужна была нефть.

В течение 85 лет, с начала тридцатых годов XX века нефтегазовый комплекс Российской Федерации последовательно развивался по единой парадигме [11, 10]. Теоретические основы парадигмы были разработаны выдающимися учеными и организаторами нефтегазового комплекса И.М. Губкиным, Н.К. Байбаковым, А.А. Трофимуком, А.Д. Архангельским, А.А. Бакировым, И.С. Грамбергом, Ф.Г. Гурари, С.П. Максимовым, В.Д. Наливкиным, И.И. Нестеровым, Н.Н. Ростовцевым, Ф.К. Салмановым, В.В. Семеновичем, В.И. Шпильманом, Ю.Г. Эрвье. Автор назвал ее «парадигмой Губкина – Байбакова – Трофимука». Со середины 60-х годов автор также активно участвовал в этой работе.

Основу парадигмы Губкина – Байбакова – Трофимука составляли [11, 10]:

¹ Советник РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, академик РАН

- 1) последовательное расширение географии нефтяной промышленности за счет новых провинций на континентальной части территории России (движение с Запада на Восток и на Север) (рис. 1);
- 2) приоритетные поиск, разведка и ввод в разработку уникальных и крупных месторождений;
- 3) приоритетный ввод в разработку запасов, отличающихся высокими качественными характеристиками (пористость и проницаемость коллекторов, вязкость, плотность, содержание серы в нефти).

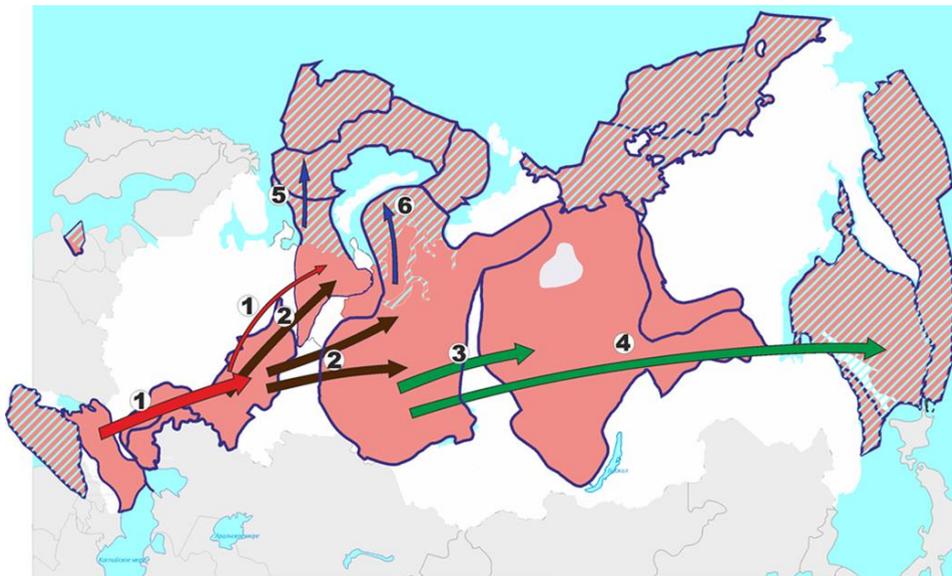


Рис. 1. Схема последовательной реализации стратегии развития нефтегазового комплекса Российской Федерации в XX веке (парадигма Губкина – Байбакова – Трофимука).

Условные обозначения: 1 – 1930 – 1960 гг.; 2 – 1948 – 1990 гг.; 3 с 1974 г. по настоящее время; 4 с 1980 г. по настоящее время; 5,6 – 80-е – 90-е гг. XX века

Это была абсолютно правильная парадигма, и ее последовательная реализация позволила Советскому Союзу и его правопреемнице – Российской Федерации стать великой нефтегазовой державой. К **настоящему времени (первые десятилетия XXI века) она реализована практически полностью**. В поисках новых месторождений нефти и газа Россия дошла до Тихого и Северного Ледовитого океанов. За последние 30 лет в нефтегазоносных провинциях, располагающихся на территории страны не открыто ни одного нового крупного или уникального месторождения.

В XXI веке должна произойти смена парадигмы развития нефтяного и, в значительной мере, газового комплекса России.

Новая парадигма должна провозгласить, что в ближайшие десятилетия главными, приоритетными задачами нефтегазовой отрасли Российской Федерации, а также новыми объектами поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа будут являться:

- ✓ рациональное, опирающееся на современные технологии использование остаточных запасов («повышение эффективности добычи») уникальных и крупных месторождений;

✓ освоение уникальных ресурсов нефти нетрадиционных источников – баженовская свита Западно-Сибирской провинции, доманиковая свита Волго-Уральской провинции, хадумская свита Северо-Кавказской провинции и др.

✓ поиски, разведка и разработка мелких, мельчайших и средних месторождений в зрелых нефтегазоносных провинциях;

✓ поиски, разведка и разработка преимущественно крупных и уникальных месторождений на севере Западной Сибири, в Ямало-Ненецком АО (полуострова Ямал, Гыдан), в Красноярском крае, на юге полуострова Таймыр, в заливах и губах рек Обь, Таз, Енисей и др.,

✓ поиски, разведка и разработка преимущественно крупных и уникальных месторождений в слабо изученных нефтегазоносных областях Лено-Тунгусской провинции;

✓ развитие систем трубопроводного и морского (Северный морской путь) транспорта, ускоренный ввод в разработку неосвоенных ранее месторождений;

✓ поиски, разведка и разработка преимущественно крупных и уникальных месторождений в осадочных бассейнах российского шельфа Северного Ледовитого и Тихого океанов;

✓ для газового комплекса Российской Федерации приоритетными должны стать развитие высокотехнологичных подотраслей переработки жирного конденсатного газа, системы продуктопроводов, газохимической промышленности, гелиевой промышленности.

Главное особенностью новой парадигмы должна являться смена идеи экстенсивного развития нефтегазового комплекса на интенсивное его развитие, на разработку теоретических основ, отечественных технологий и отечественного оборудования для освоения ресурсов нефти и газа в новых, ранее технологически недоступных регионах и геологических объектах, на глубокую переработку нефти и газа.

Реализация новой парадигмы стратегии развития сырьевой базы и добычи нефти в Российской Федерации требует:

✓ **обновленной фундаментальной теоретической базы поисков, разведки и разработки нефтяных месторождений**, в первую очередь, месторождений с трудно извлекаемыми запасами (баженовская свита и др.), а также месторождений на шельфах морей Северного Ледовитого океана;

✓ **новых идей, технологий, оборудования для поисков и разведки месторождений нефти**, в первую очередь, месторождений в баженовской свите, на территории Лено-Тунгусской провинции, на шельфах морей Северного Ледовитого океана;

✓ **новых идей, технологий и оборудования для разработки месторождений нефти**, в первую очередь, месторождений с трудно извлекаемыми запасами (баженовская свита и ее фациально-литологические аналоги, карбонатные коллекторы верхнего протерозоя Лено-Тунгусской провинции), а также месторождений на шельфах морей Северного Ледовитого океана;

✓ нефтяные технологии XXI века должны обеспечить резкий рост производительности труда и снижение себестоимости оборудования и всех видов работ при поисках, разведке, разработке и транспорте нефти;

✓ нефтяные технологии XXI века должны обеспечить компьютеризацию и автоматизацию всех видов работ, путем создания **smart - технологий и оборудования** «умных скважин», «умных промыслов», «умных систем транспорта»;

✓ нефтяные технологии XXI века должны обеспечить безукоризненное по экологическим требованиям проведение всех видов работ, рекультивацию

территорий, освоенных нефтяной промышленностью и системами трубопроводного транспорта, восстановление природных ландшафтов и биоразнообразия;

✓ нефтяной комплекс России XXI века должен обеспечить энергетическую безопасность страны, сохранение за Россией роли ведущей нефтяной державы, одного из главных гарантов нового мирового энергетического порядка, который должно установить человечество на XXI век.

Из этого перечня вопросов, остановлюсь несколько подробнее только на двух, являющихся *первоочередными большими вызовами* для нефтегазового комплекса России.

Нефтяные технологии XXI века для поисков, разведки и разработки трудноизвлекаемых ресурсов и запасов нефти в баженовской свите

Баженовская свита – главный потенциальный источник трудноизвлекаемых ресурсов и запасов нефти в России. Как геологическое тело в мезозойском осадочном чехле Западно-Сибирского бассейна баженовская свита была выделена в 1959 г. Ф.Г. Гурари [1]. Он же два года спустя высказал предположение о наличии в баженовской свите трещинных коллекторов и возможности обнаружения в них залежей нефти [2]. Предположение о промышленной нефтеносности баженовской свиты вскоре было подтверждено Ф.К. Салмановым, Г.Р. Новиковым, А.В. Тяном. Более полувека назад, в апреле 1967 г. они получили первый промышленный приток нефти из баженовской свиты [3, 4].

За пол века значительный вклад в изучение баженовской свиты внесли научные школы СНИИГГиМС, ЗапСибНИГНИ, ИГГ АН СССР (в настоящее время ИНГГ СО РАН), РГУ нефти и газа им. Губкина, ИГИРГИ, ВНИГРИ, ВНИГНИ, МГУ и ряда других организаций.

В настоящее время, когда добыча нефти в традиционных залежах нефти в Западно-Сибирском бассейне падает, баженовская свита становится главным объектом потенциального прироста запасов и добычи нефти [9].

По литологии, геохимии, генезису, роли в нефтегазоносности Западной Сибири баженовская свита – объект особый. Прежде всего, это не имеющее аналогов в Западной Сибири и немного аналогов в мире, огромное по площади распространения гигантское накопление органогенных пород, в прошлом – органогенных осадков. Формирование осадков, из которых образовалась баженовская свита – это результат захоронения продуктов жизнедеятельности планктонных и бентосных организмов в огромном Западно-Сибирском, относительно глубоком море, существовавшем 143 – 150 млн. лет тому назад (поздняя юра начало раннего мела). Это море было окруженное равнинной сушей.

Породообразующими в баженовской свите являются биогенное перекристаллизованное вещество – кремнистое – силициты и карбонатное, углеродистое органическое вещество – кероген, глинистый материал и пирит. Соотношение этих компонентов меняется в широких пределах. Такие породы предложено называть баженины или микститы [7, 11]. Органическое вещество баженовской свиты – кероген тоже объект исключительный. Оно представляет собой комплекс полимерлипидов, образованных в осадках из липидов планктонных и бентосных архей, бактерий и простейших эукариотов – радиолярий, фораминифер и др.

Карбонатно-глинисто-кероген-кремнистые породы баженовской свиты за свою, многомиллионнолетнюю историю пережили сложную эволюцию. Они погрузились на глубины от 1200 м до 3000 м. Это привело к уплотнению пород и возрастанию температур до 100-150°C. При этих температурах происходили изменения пород и

деструкция керогена (катагенез), которая привела к генерации и миграции огромной массы флюидов – нефти и углеводородных газов, а также неуглеводородных летучих компонентов (CO_2 , H_2O , H_2S , NH_3).

Численное моделирование процессов генерации нефти в центральной части Западной Сибири показало, что главный этап (фаза) генерации жидких углеводородов (микронефти) и углеводородных газов в баженовской свите на территории исследования началась около 95 млн. лет тому назад в сеномане, охватила склоны Хантейской антеклизы около 45 млн. лет тому назад и на Сургутском своде продолжается до сих пор.

В наиболее мощных очагах генерации за это время органическое вещество баженовской свиты генерировало 6-10 млн. т/км² микронефти (битумоидов) и углеводородных газов.

В зависимости от палеотемпературной истории (уровни катагенеза) кероген баженовской свиты реализовал свой генерационный потенциал от первых процентов на Сургутском своде до 85-90% на Салымском куполовидном поднятии.

Оценки показали, что начальная масса керогена на площади центральной части Западно-Сибирского бассейна составляла 430 - 435 млрд. т, современная – 300-305 млрд. т. Потеря массы керогена в катагенезе составила 125-135 млрд. т. В результате деструкции керогена образовалось 105-110 млрд. т микронефти (битумоидов) и 20-25 млрд. т неуглеводородных летучих продуктов – H_2O , CO_2 , H_2S , NH_3 .

Для разработки методик поисков, разведки, подсчета запасов и методов разработки баженовской нефти крайне важны понимание генезиса нефти, природы пустотности и определение объема пустот в породах баженовской свиты.

Обычно при обсуждении природы порового пространства баженовской свиты обращают внимание на листоватость, субгоризонтальную трещиноватость пород, слагающих ее [6-8]. Формирование тончайших слоев (нанослоев, микрослоев) пород, сложенных нацело полимерлипидным по составу протокерогеном (керогеном) напоминает осадки, формирующиеся в современную геологическую эпоху в Тихом и Атлантическом океанах, вдоль западных берегов Южной Америки и Африки в результате явления, получившего название Эль-Ниньо. Они представлены микронной толщины слоями углеродистого органического вещества. В катагенезе и, особенно, в главную фазу нефтеобразования это вещество практически нацело превращалось в летучие продукты катагенетических преобразований ОВ (H_2O , CO_2 , H_2S , NH_3 , углеводороды C_1 - C_{40} и гетероциклические соединения, включая смолы и асфальтены). В результате между слоями породы, сложенными в преобладающей части минеральным материалом (силициты, карбонаты, глинистое вещество, твердая фаза керогена, пирит и др.) твердая фаза керогена превращалась в значительной части в фазообособленные жидкую и газообразную фазы и формировала субгоризонтальную трещиноподобную емкость, заполненную нефтью и углеводородными газами.

Помимо них в формировании флюидной фазы участвовали биогенная («возрожденная») вода, диоксид углерода и сероводород. В условиях избытка углерода значительная часть сульфатной серы восстанавливалась до элементарной серы. В зависимости от состава и количества органического вещества образующиеся газы либо полностью растворялись в жидких углеводородах, либо, насытив жидкую фазу, формировали наряду с газонасыщенной жидкой самостоятельную газообразную фазу.

Как показали исследования, микститы и кремнистые (силициты) породы баженовской свиты в значительной своей части содержат от 10% до 20% $\text{C}_{\text{орг}}$ -концентрация органического вещества, которое кроме углерода содержит водород,

азот, кислород, серу, на 15-30% больше. Это полимерлипидное, на стадии диагенеза коллоидообразное органическое вещество дисперсно пропитывало всю массу осадков. В настоящее время в районе исследований породы баженовской свиты находятся в главной зоне нефтеобразования. Значит, незрелый кероген баженовской свиты потерял в процессе прото- и мезокатагенеза значительную часть своей массы в виде газообразных и жидких продуктов. К началу катагенеза породы баженовской свиты содержали органическое вещество (кероген) в концентрации 12–25% на их массу. Если учесть, что плотность беззольного керогена значительно ниже, чем плотность кремнистого, глинистого и карбонатного материала, то роль рассеянного органического вещества в объеме породы была еще больше.

Это означает, что катагенные превращения органического вещества должны были формировать не только субгоризонтальную трещиноватость, а и рассредоточенную во всей матрице баженовской породы *пустотность*. Поскольку при погружении породы свиты подвергались геостатическому давлению, то это приводило к отжатию флюидов и смыканию части порового пространства, не заполненной флюидами [18].

Теоретический анализ показывает и аналитические исследования керна подтверждают, что, для баженовской и тутлеймской (нижняя подсвита) свит характерны два типа коллектора [18]:

1. пустоты в матрице породы, созданные в катагенезе за счет деструкции керогена и новообразования микронепти и других, неуглеводородных жидких и газообразных («летучих») соединений; иногда они имеют форму каверн, но каверны связаны не с процессами выщелачивания, а с деструкцией сформировавшихся в диагенезе, первоначально коллоидообразных сгустков органического вещества. Это пустотное пространство, как правило, плохо закреплено каркасом породы и частично или полностью закрывается (схлопывается) при потере породой образованных флюидов (эмиграция углеводородов, разгрузка «возрожденных» вод и пр.) и уплотнении;

2. листоватость, «горизонтальная трещиноватость», заложенная в седиментогенезе (присыпки органического вещества при массовых заморах биоты) и сформировавшаяся в катагенезе по тому же механизму (деструкция керогена).

В ИНГГ СО РАН разработаны оригинальные методы определения пустотности в породах баженовской свиты и ее нефтенасыщенности.

В баженовской и тутлеймской свитах имеются также пласты первоначально органогенных, в значительной степени перекристаллизованных нефтенасыщенных карбонатных пород, подобных формации бакен в США (они составляют 8-10% массы и 4-6% объема пород).

Лабораторные исследования керна баженовской свиты показали, что основная часть битумоидов являются аллохтонными, т.е. содержится в открытых порах и представляют собой легкую или тяжелую нефть.

Масса адсорбированных и абсорбированных в матрице пород остаточных битумоидов равна 6-7% от массы микронепти, которую генерировало органическое вещество баженовской свиты.

Знание массы микронепти, которую генерировал кероген, массы микронепти в открытых порах, и массы остаточных автохтонных битумоидов позволяет по разности определить количество эмигрировавшей нефти. Большая часть вовлеченной в процессы первичной миграции нефти сконцентрирована в открытом поровом пространстве самой этой толщи (около 65%) и только 35% образовавшейся нефти вышло за пределы баженовской свиты в песчаные пласты резервуаров верхней юры и баррема-апта.

С учетом изложенных выше результатов была выполнена вероятностная количественная оценка ресурсов нефти в баженовской свите. Согласно оценке на

территории распространения баженовской свиты в ней сосредоточено 65-100 млрд. т геологических ресурсов нефти, в том числе в «высокоемких» коллекторах 65-80 млрд. т. Учитывая, что обычно при оценке запасов нефти баженовской свиты условно принимается коэффициент извлечения нефти 0,15, можно предварительно оценить извлекаемые ресурсы нефти баженовской свиты в 10-12 млрд. т.

Таким образом, баженовская свита Западной Сибири содержит огромные ресурсы нефти. Это осознали уже многие нефтяные компании. Интересные и перспективные работы по созданию технологий поисков, разведки и разработки баженовской нефти в последние годы выполнили компании Сургутнефтегаз, Лукойл, РИТЭК, Роснефть, Газпром нефть.

Однако ни одна из задач, решение которых необходимо для организации эффективной добычи нефти из баженовской свиты не может считаться решенной.

Нужно иметь в виду, что используемая в настоящее время теория и технологии разработки месторождений нефти основана на модели упругого или преимущественно упругого геологического тела. Нефтеносные породы баженовской свиты (бажениты, микститы) благодаря высокой концентрации керогена и вторичной природе пористости представляют собой пластичное или упруго-пластичное тело. Построение теории фильтрации нефти в таком коллекторе требуют новой постановки задачи и новых методов решения, а создаваемые технологии также должны быть ориентированы на упруго-пластичную модель геологического тела.

Традиционные методы разработки нефтяных месторождений, исходящие из модели упругого коллектора, к баженовской свите неприменимы. Не решает задачи создания технологии добычи нефти из баженовской свиты и технология добычи сланцевой нефти, разработанная в США.

Сформулируем первоочередные технологические задачи. Необходимо в кратчайшие сроки

- разработать методику выявления и картирования объектов, в которых локализованы залежи нефти в баженовской свите;
- создать методику выявления нефтепродуктивных интервалов баженовской свиты по данным ГИС;
- создать и апробировать в ГКЗ России эффективную методику разведки и подсчета запасов нефти в баженовской свите, методики определения подсчетных параметров залежей по данным исследования керна и ГИС;
- разработать рациональный и эффективный комплекс ГИС для баженовской свиты;
- разработать методы оценки ресурсов нефти в баженовской свите;
- разработать, опираясь на российский и мировой опыт и с учетом специфики коллектора, технологии разработки залежей нефти в баженовской свите с использованием горизонтального бурения, гидроразрыва пластов и других методов интенсификации и обеспечения стабильности дебита скважин.

При успешном решении этих задач баженовская свита, несомненно, будет главным геологическим объектом, на который будет опираться добыча нефти в России во второй четверти XXI века. Нужно также учитывать высокие перспективы нефтеносности близких по геологической природе и таких же уникальных объектов, как доманик Восточно-Европейской платформы, хадумская свита Северного Кавказа, куонамская свита Сибирской платформы.

Решение перечисленного комплекса технологических задач возможно только при высочайшем уровне научного сопровождения с использованием новейшего оборудования.

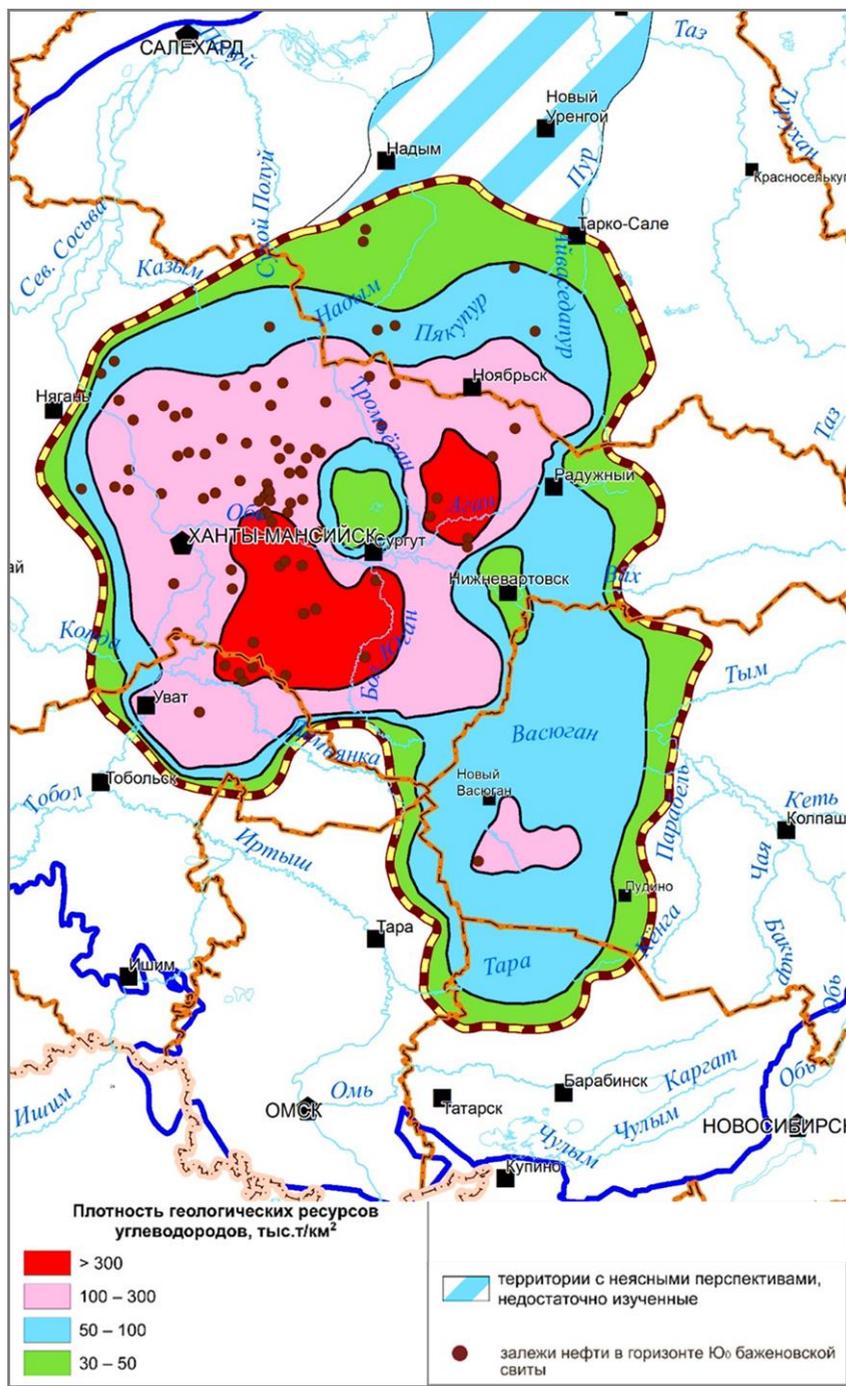


Рис. 2. Карта перспектив нефтегазоносности баженовского горизонта центральных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ресурсы нефти и растворенного газа)

Для построения теории, адекватной реальному объекту – породам баженовской свиты нужна исчерпывающая экспериментальная характеристика литологического состава, механических и петрофизических свойств этих пород в зависимости от температуры и давления.

Поэтому создание экспериментальных и теоретических основ и технологий разработки пород баженовской свиты и ее литологических аналогов является задачей принципиально новой, мультидисциплинарной, а ее решение будет иметь для экономики России и, конечно, многих других стран огромное значение.

Для решения этой задачи ИННГ им. Трофимука СО РАН предлагает реализовать в рамках программы развития Новосибирского научного центра СО РАН (поручение В.В. Путина) проект «Научное обоснование, разработка и крупномасштабное внедрение высокоэффективной технологии добычи нефти в упруго-пластичных коллекторах баженовской свиты (Западно-Сибирская провинция) и ее фациальных аналогах в европейских районах страны, Восточной Сибири и Якутии».

В реализации проекта должны участвовать геологи и геофизики-нефтяники, специалисты в области разработки нефтяных месторождений, математического моделирования, физики твердого тела, механики, гидродинамики, теплофизики, химии нефти и др. Сибирское отделение РАН готово сформировать такой коллектив. Проект должен явиться убедительным примером исследований и разработок полного цикла, в котором происходит размывание междисциплинарных и межотраслевых границ.

Ядром проекта должно явиться создание Центра трудноизвлекаемых запасов нефти (ТРИЗ-центр). ТРИЗ центр должен выполнить теоретически исследования и стендовое моделирование процессов разработки залежей нефти в упруго-пластичных коллекторах, отработать эффективные режимы разработки и тем самым сократить объемы бурения дорогостоящих скважин с методическими целями, что существенно удешевит и в 2-3 раза сократит во времени научные исследования по разработке технологии разработки залежей нефти в упруго-пластичных коллекторах. Таким образом, реализация проекта должно реально продемонстрировать возможности сжатия инновационного цикла, когда время между получением новых знаний и созданием технологий, продуктов и услуг, их выходом на рынок будет предельно сжато.

Поиски, разведка и разработка мелких и мельчайших по запасам месторождений в зрелых нефтегазоносных провинциях

В результате интенсивной добычи нефти и газа многие нефтегазоносные провинции Российской Федерации (Северокавказская, Волго-Уральская, Западно-Сибирская и др.) вступили в зрелую стадию освоения. Для этой стадии характерным является, что все уникальные, крупные средние по запасам месторождения уже выявлены и открываются только мелкие, мельчайшие и, редко, средние по запасам месторождения [12-15].

Из числа открытых за последние 25 лет в Волго-Уральской провинции месторождений 96,1 % месторождений имели начальные извлекаемые запасы менее 5 млн. т., 76,9 % менее 1 млн. т. Только 11 месторождений имели запасы от 5 до 15 млн. т. Близкая ситуация имеет место в Республике Коми (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция), Ханты-Мансийском автономном округе и Томской области (Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция) [11].

Долгое время ресурсы мелких и мельчайших месторождений при оценке всех прогнозных ресурсов нефти оценивались только экспертно. Специальной методики оценки прогнозных ресурсов нефти в мелких и мельчайших месторождениях не было.

Еще в 70-80-е годы прошлого столетия В.И. Шпильманом, моими учениками Л.М. Бурштейном, В.И. Деминым, В.Р. Лившицем и мной были созданы теоретические основы такой методики [13, 14]. В.Р. Лившицем и мной была выполнена оценка прогнозных ресурсов нефти с извлекаемыми запасами месторождений более 300 тыс. т в двух крупнейших зрелых нефтегазоносных провинциях [17]. Она показала, что прогнозные ресурсы месторождений традиционной нефти в них весьма значительны – около 5,5 млрд. т в Волго-Уральской и 17,0 млрд. т – в Западно-Сибирской. В этих месторождениях не выявлено более 18 тыс. мелких и мельчайших месторождений, в том числе в Волго-Уральской – около 7,5 тыс. и в Западно-Сибирской – около 10,5 тыс. Средние запасы этих месторождений 1,2 млн. т.

Распределение прогнозных (D_0+D_1) извлекаемых ресурсов нефти
по месторождениям различной крупности с запасами более 0,3 млн. т
в Волго-Уральской и Западно-Сибирской НГП, млн. т
по состоянию на 01.01.2018 г.

Провинция	Классы месторождений по извлекаемым ресурсам, млн. т			Всего
	3-10	1-3	0,3-1	
Волго-Уральская	0	1654,6	3870,7	5525,3
Западно-Сибирская	7861,6	4708,8	4461,9	17032,3
Итого	7861,6	6363,4	8332,6	22557,6

С этой оценкой согласуются и оценки ресурсов категории D_0 (ранее C_3). Согласно данным Роснедра и субъектов федерации в рассматриваемых выше регионах подготовлено к поисковому бурению около 1200 объектов. Ресурсы категории C_3 этих поисковых объектов не превышают 5 млн. т каждого, а средние ресурсы одного объекта менее 3 млн. т.

Наряду с истощенными уникальными и крупными, а также средними месторождениями нефти открытые и прогнозируемые к открытию мелкие и мельчайшие месторождения должны стать базой для поддержания или замедления падения добычи нефти в зрелых нефтегазоносных регионах. В крупных зрелых нефтедобывающих регионах России разработка мелких и мельчайших месторождений нефти уже ведется. В 2013-2017 гг. в России на них ежегодно добывали 40-45 млн. т нефти.

Подобная ситуация имела место в США в первой половине семидесятых годов прошлого века и вплоть до начала эпохи «сланцевой нефти», т.е. до 2008 г. добыча нефти на мелких и мельчайших месторождениях являлась важной составной частью общей добычи нефти в стране.

Эта задача была решена путем широкого привлечения для поисков, разведки и разработки таких месторождений малого и среднего бизнеса. Представляется, что Россия должна учесть этот опыт.

Организация поисков и разведки и освоение запасов и ресурсов мелких и мельчайших месторождений путем привлечения и создания благоприятных условий для деятельности малого и среднего бизнеса должно стать важным элементом государственной политики в области недропользования (рис. 3).

Это политика может обеспечить до 20% добычи нефти в стране, создать большое число новых рабочих мест в районах со значительной плотностью населения, будет способствовать подъему уровня и качества жизни населения.

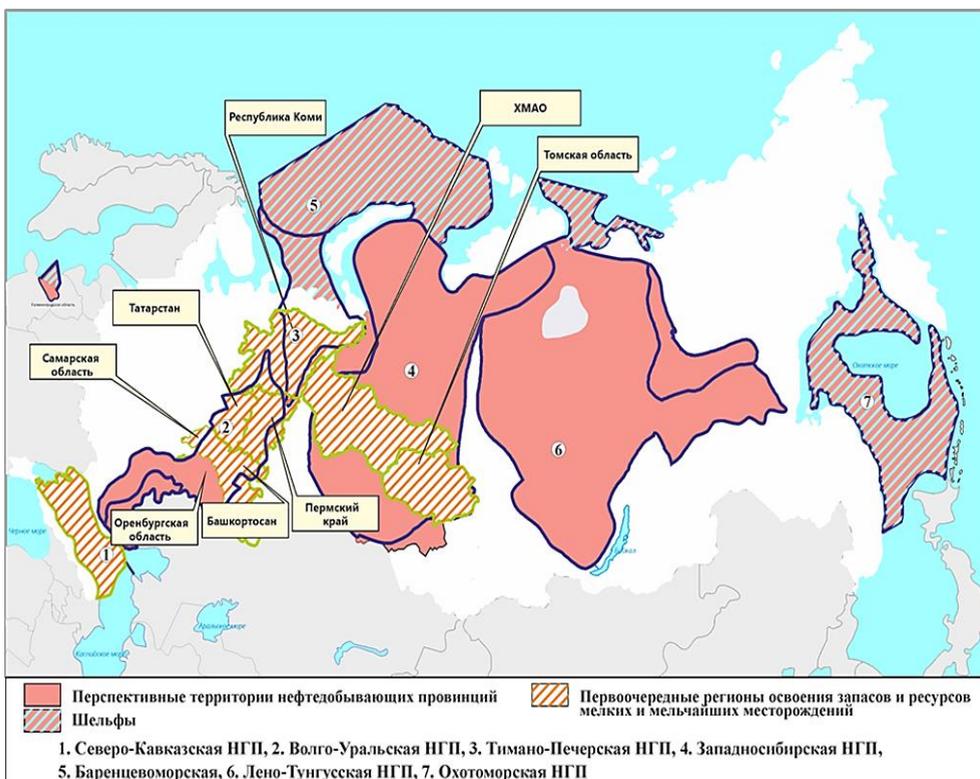


Рис. 3. Первоочередные регионы освоения запасов и ресурсов мелких и мельчайших месторождений в Российской Федерации с привлечением малого и среднего бизнеса

В рамках пересмотра парадигмы стратегии развития нефтяного комплекса должна быть разработана государственная программа освоения мелких и мельчайших месторождений нефти. Государственная программа освоения ресурсов нефти в мелких и мельчайших месторождениях нефти должна быть ориентирована на малый и средний бизнес. Она должна содержать меры государственной поддержки и антимонопольные меры, защищающие компании малого и среднего бизнеса от поглощения гигантскими нефтяными корпорациями. При разработке этих документов необходимо учесть успешный опыт Республик Татарстан и Башкортостан.

Предлагается поручить:

Минэнерго России, МПР России, совместно с Минфином России разработать Государственную программу освоения ресурсов нефти в мелких и мельчайших месторождениях нефти на период до 2035 г. т на более отдаленную перспективу.

МПР России

- выполнить экспертизу оценки прогнозных ресурсов нефти и прогноз количества мелких и мельчайших месторождений в регионах, находящихся на зрелой стадии развития нефтяной промышленности;
- разработать программу лицензирования недр, ориентированную на ускоренное геологическое изучение территорий, перспективных на открытие мелких и мельчайших месторождений;

- поскольку организация сейсморазведочных работ на небольших участках 15-30 км² будет заведомо нерентабельна, предусмотреть в качестве формы партнерства государства и бизнеса на территориях, планируемых к лицензированию, проведение сейсморазведочных работ высокой плотности 2D или 3D для подготовки объектов к поисковому бурению с последующим включением затрат в стоимость лицензионных участков и возвращение затраченных средств в федеральный бюджет;

- изменить для мелких и мельчайших месторождений положение об этапах и стадиях разведочных работ, разрешить опытно-промышленную разработку таких месторождений сразу после регистрации их открытия, исключить этап разведки и предусмотреть совмещение разведки таких месторождений с эксплуатационным бурением.

Минфину России по согласованию с МПР России

- предусмотреть в бюджете затраты на проведение геофизических работ на территориях, проектируемых к лицензированию для поисков и освоения мелких и мельчайших месторождений с последующим их возвращением в бюджет в процессе освоения открытых месторождений.

Минфину России совместно с Минэнерго России, МПР России

- предусмотреть льготные формы кредитования малого и среднего нефтяного бизнеса на выполнение поискового и эксплуатационного бурения и связанные с ними работы (исследование крена, подсчет запасов, проектирование геологоразведочных работ, разработки месторождений и пр.);

- приоритетный и льготный допуск малых нефтяных компаний к системам транспорта нефти;

- разработать комплекс мер государственной поддержки малого и среднего нефтяного бизнеса при освоении мелких и мельчайших нефтяных месторождений.

Правительству Российской Федерации

внести по предложениям Минфина России, Минэнерго России, МПР России предложения

- по законодательному уточнению понятия малые нефтяные компании;
- по законодательному закреплению комплекса мер государственной поддержки малого и среднего нефтяного бизнеса при освоении мелких и мельчайших месторождений.

Литература

1. *Гурари Ф.Г.* Геология и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья. Л.: Гостоптехиздат. 1959. 174 с.

2. *Гурари Ф.Г.* О поисках нефти и газа в мезозое Западно-Сибирской низменности // Тр. СНИИГГИМС. Л.: Гостоптехиздат. 1961, вып.17. С.15-31.

3. *Новиков Г.Р., Салманов Ф.К., Тянь А.В.* Перспективы открытия крупных залежей нефти в трещиноватых аргиллитах баженовской свиты // Науч.-техн. сб. «Нефть и газ Тюмени». 1970. № 7. С. 1-3.

4. Салымский нефтегазоносный район /Бриндзинский А.М., Нестеров И.И., Новиков Г.Р., Салманов Ф.К., Тянь А.В., Ушатинский И.Н. // Тр. ЗапСибНИГНИ. Тюмень. 1970, вып. 41. 314 с.

5. *Гурари Ф.Г., Гурари И.Ф.* Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа. 1974. № 5. С. 36-40.

6. *Бульникова С.П., Гольберт А.В., Климова И.Г., Конторович А.Э., Полякова И.Д., Решетникова М.А., Турбина А.С.* Палеобioфации нефтегазоносных волжских и неокомских отложений Западно-Сибирской плиты. М.: Недра. 1978. 86 с.

7. *Нестеров И.И.* Новый тип коллектора нефти и газа // Геология нефти и газа. 1979. № 9. С. 26-29.

8. *Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. и др.* Баженовский горизонт Западной Сибири. Новосибирск: Наука. 1986. 216 с.
9. *Конторович А.Э., Буриштейн Л.М., Казаненков В.А., Конторович В.А., Костырева Е.А., Пономарева Е.В., Рыжкова С.В.* Баженовская свита – главный источник ресурсов нетрадиционной нефти в России [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электронный журнал. 2014. № 2 (10). С. 1-8.
10. *Конторович А.Э., Эдер Л.В.* Новая парадигма стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 5. С. 8-17.
11. *Конторович А.Э.* Глобальные проблемы нефти и газа и новая парадигма развития нефтегазового комплекса России // Наука из первых рук. 2016, т. 67. № 1. с. 6-17.
12. *Конторович А.Э., Демин В.И.* Метод оценки количества и распределения по запасам месторождений нефти и газа в крупных нефтегазоносных бассейнах // Геология нефти и газа. 1977. № 12. С. 18-26.
13. *Конторович А.Э., Демин В.И., Страхов И.А.* Закон «геологоразведочного фильтра» при поисках месторождений углеводородов // Советская геология. 1987. № 6. С. 6-13.
14. *Конторович А.Э., Лившиц В.Р.* Имитационная стохастическая модель распределения месторождений нефти и газа по запасам // Советская геология. 1988. № 9. С. 99-107.
15. *Конторович А.Э., Лившиц В.Р.* Имитационное моделирование процесса поисков месторождений нефти и газа // Геология и геофизика. 1988. № 5. С. 3-17.
16. *Конторович А.Э., Эдер Л.В., Филимонова И.В., Мишенин М.В., Немов В.Ю.* Нефтяная промышленность исторически главных центров Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, элементы их истории, ближайшие и отдаленные перспективы // Геология и геофизика. 2016, т. 57 (12). С. 2097-2114.
17. *Конторович А.Э., Лившиц В.Р.* Новые методы оценки, особенности структуры и пути освоения прогнозных ресурсов нефти зрелых нефтегазоносных провинций (на примере Волго-Уральской провинции) // Геология и геофизика. 2017, т. 58 (12). С. 1835-1853.
18. *Конторович А.Э., Родякин С.В., Буриштейн Л.М., Костырева Е.А., Ян П.А.* Пористость и нефтенасыщенность порового пространства пород баженовской свиты // Геология нефти и газа. 2018. № 5. С. 73-85.

А.В. Латышев¹

Центр нанотехнологий как элемент технологического прорыва

Многие достижения в современном мире стали возможны благодаря успехам, достигнутым в области микро- и наноэлектроники. Основой этих успехов является бурный рост исследований и разработок в области полупроводниковых нанотехнологий. Каждые два года происходит удвоение количества транзисторов в микросхемах, в результате чего происходит экспоненциальный рост мощности вычислительных устройств. Достигается это благодаря интенсивным научным и прикладным исследованиям. Большие надежды связаны с развитием квантовых вычислений и коммуникаций, цифровых технологий, новых материалов и элементной базы на новых физических принципах.

Вместе с тем, в нашей стране имеется существенное отставание в указанных областях от передовых научно-технологических стран. Во многом это связано с отсутствием современного научного оборудования и инфраструктуры. Для

¹ Директор Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, академик РАН

проведения научных исследований, создания и отработки технологий на современном уровне требуются существенные затраты в связи с высокой стоимостью оборудования. Например, современный полупроводниковый чип – это 8 млрд. транзисторов, а создание интегральной схемы технологического уровня 90 нм содержит примерно 5000 операций и 1000 контрольных измерений параметров.

Понимая, что такие затраты не возможны в рамках одной организации, мировая тенденция состоит в создании научно-исследовательских технологических центров с современным дорогостоящим оборудованием на базе существующих научных организаций и университетов, действующих по принципам Центров коллективного пользования. Такими общеизвестными центрами являются, например, Исследовательский центр микроэлектроники при Техасском университете в Остине (США), Центр превосходства в нанoeлектронике и нанотехнологии (CENN) в Олбани (США), Исследовательский центр нанoeлектроники (NCRC) при университете г. Токио (Япония), Центр микроэлектроники в Провансе (Франция) и др.

Создание ЦЕНТРА НАНОТЕХНОЛОГИЙ – междисциплинарного центра исследований и разработок (рис. 1), предлагаемого Институтом физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, позволит существенно продвинуть фундаментальные и прикладные исследования в области новых материалов для микро-, нано-, био- и оптоэлектроники и нанofотоники как для научных институтов, университетов и промышленных предприятий РФ.



Рис. 1. Центр нанотехнологий – междисциплинарный центр исследований и разработок

Миссия Центра - обеспечение мирового уровня научных исследований, технологий и разработок в области новых материалов и элементной базы, работающей на новых физических принципах, для микро-, нано-, био- и оптоэлектроники и нанofотоники, СВЧ-электроники, сенсорики, радиационно-стойкой электроники, квантовой электроники, ИК-техники (рис. 2).

Центр нанотехнологий станет существенным элементом создаваемой инфраструктуры нанoиндустрии Российской Федерации, дополнит существующую научно-технологическую инфраструктуру новосибирского региона наряду с научными институтами, ВУЗами, Новосибирским Академпарком и предприятиями электронной промышленности Сибирского региона.

Миссия Центра - обеспечение мирового уровня научных исследований, технологий и разработок в области новых материалов и элементной базы, работающей на новых физических принципах, для микро-, нано-, био- и оптоэлектроники и нанофотоники, СВЧ-электроники, сенсорики, радиационно-стойкой электроники, квантовой электроники, ИК-техники ...



Рис. 2. Миссия Центра

Исследования и разработки на базе Центра нанотехнологий будут направлены, прежде всего, на решение задач, поставленных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы, Программе «Цифровая экономика». Переход к передовым цифровым, новым материалам и способам конструирования является одним из приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Квантовые технологии, новые производственные технологии являются основными сквозными цифровыми технологиями Программы «Цифровая экономика».

Глобальными задачами ЦЕНТРА НАНОТЕХНОЛОГИЙ являются:

- *Обеспечение мирового уровня ориентированных фундаментальных исследований*, направленных на разработку технологий и приборов в области элементной базы наноэлектроники и нанофотоники.
- *Опережающее создание точек роста электроники будущего* на новых физических принципах на основе квантовых технологий.
- *Выполнение проектов полного цикла* от генерации знаний до разработки технологий на основе фундаментального задела научных организаций и учебных заведений в интересах среднего и крупного бизнеса.
- *Прорывные решения по разработке конкурентоспособной высокотехнологичной, импортозамещающей электронной компонентной базы.*
- *Оказание технологических и инженеринговых услуг* на современном уровне, особенно, в области междисциплинарных исследований, научно-исследовательским организациям, резидентам Технопарков и профильным предприятиям РФ с целью масштабирования результатов НИОКРов.
- *Разработка новых полупроводниковых технологий и функциональных материалов* для промышленных партнеров с целью выхода на международные рынки.

- *Подготовка кадров* высшей квалификации для научных организаций и предприятий электронной промышленности. *Обеспечение условий* для притяжения талантливой молодежи, воспитания лидеров и формирования команд как основа новых стартапов в области нанoeлектроники и нанoфотоники.

Базовой организацией Центра нанотехнологий будет являться ИФП СО РАН – уникальная и единственная в России научная организация с полным набором компетенций высокого уровня в области фундаментальных и прикладных исследований полупроводников, наносистем, технологий их создания и применения в практически важных областях: нано-, опто- и СВЧ-электроника, инфракрасная техника и тепловидение, радиационно-стойкая электроника, сенсорика и другие.

Институт имеет существенный набор компетенций работы с уникальной технологической базой высокого уровня, включающей технологии молекулярно-лучевой эпитаксии для синтеза квантовых наноструктур в системе германий-кремний, материалов и наноструктур A_3B_5 , гетероэпитаксиальных систем кадмий-ртуть-теллур, технологию получения наноструктур кремний-на-изоляторе, технологии электронной и зондовой нанолитографии, уникальную технологию создания трехмерных наноструктур.

Деятельность Центра будет направлена на проведение фундаментальных исследований на мировом уровне, создание прорывных технологий и предоставление услуг внешним организациям:

- Квантовые технологии полупроводниковых низкоразмерных систем;
- Технологии полупроводниковых наногетероструктур;
- Технологии полупроводниковой нанофотоники;
- Полупроводниковые технологии новых наносенсорных систем;
- Технологии электронной компонентной базы на новых физических принципах;
- Технологии новых материалов для нано- и оптоэлектроники;
- Технологии квантовой информатики.

Результаты фундаментальных исследований, разработанные и внедренные современные технологии, позволят создать новые материалы, а именно:

- Наногетероструктуры на основе Si для фотоники и оптоэлектроники;
- Системы кремний на изоляторе для экстремальной и радиационно-стойкой электроники;
- Полупроводниковые подложки для изготовления элементной базы СВЧ электроники;
- Материалы и устройства для терагерцевых применений, фотоники и радиофотоники;
- Материалы для элементной базы на новых физических принципах (топологические изоляторы, квантовые системы, материалы плазмоники, спинтроники, радиационно-стойкой электроники).

Новые материалы и технологии станут основой для разработки и мелкосерийного выпуска новых элементов и устройств:

- Микродатчики и сенсоры для космической, авиационной и автомобильной промышленности;
- Микро-флюидные системы;
- Элементы фотовольтаики и возобновляемые источники энергии;
- Компоненты мобильных вычислительных устройств, медицинские и ветеринарные системы мониторинга, сенсоры для клинических тестов;
- Элементы оптоэлектроники (вертикально излучающие лазеры, однофотонные излучатели и т.д.);

- Элементы и устройства для радиофотоники;
- Мегапиксельные и многоспектральные ИК фотоприемные устройства в целях безопасности, противодействия терроризму, мониторинга природных и техногенных процессов, медицины и обороны.

Центр нанотехнологий объединяет в себе *четыре основных технологических блока*: Блок кремниевой технологии, Блок технологии материалов группы A_3B_5 , Блок технологии материалов группы A_2B_6 , Блок технологии новых материалов. Дополнительно будут созданы аналитический и дизайн центры, которые будут решать задачи обслуживания технологических блоков.

Исследования, проводимые в *блоке кремниевой технологии*, направлены на создание следующих материалов и систем:

- Наногетероструктуры на основе кремния и германия для перспективных устройств нанофотоники, наноэлектроники, одноэлектроники, спинтроники, плазмоники и нанолитографии;
- Системы кремний на изоляторе для экстремальной и радиационно-стойкой электроники, включая элементы памяти и нейроморфные системы;
- Микродатчики и сенсоры на новых физических принципах для космической, авиационной и автомобильной промышленности, медицинские и ветеринарные системы мониторинга, сенсоры для клинических тестов.

Блок технологии материалов группы A_3B_5 ориентирован на:

- Создание новых материалов и элементов для СВЧ-электроники;
- Разработку и изготовление ИК-фотоприемных устройств на квантовых ямах;
- Разработку элементов оптоэлектроники (вертикально излучающие лазеры, однофотонные излучатели и т.д.);
- Создание материалов, элементов и устройств для радиофотоники, терагерцовой фотоники и ИК-техники;
- Повышение мощности GaAs-приборов, повышение рабочей частоты GaN-приборов для СВЧ электроники;
- Поставку гетероэпитаксиальных GaAs и GaN подложек для производства мощных СВЧ интегральных схем;
- Разработку электронных компонентов для, радиофотоники и выпуск малых серий изделий.

Блок технологии материалов группы A_2B_6 имеет целью разработку и создание следующих материалов и устройств:

- Материалы, элементы и устройства для ИК-фотоприемников в целях безопасности, обороны, медицины, противодействия природным катаклизмам и терроризму;
- Материалы и устройства для терагерцовых применений;
- Материалы для элементной базы перспективной электроники (топологические изоляторы, двумерный полуметалл, квантовые системы).

В рамках работы этого блока предполагается поставка гетероэпитаксиальных КРТ подложек для производства ИК-фотоприемных устройств на ведущих электронных предприятиях РФ, Разработка мегапиксельных, многоспектральных фотоприемных ИК-матриц, и выпуск малых серий изделий на оборудовании блока.

Основной задачей *блока технологии новых материалов* является выработка прорывных решений в области квантовой электроники, нанофотоники, спинтроники, плазмоники, нанолитографии и отработка технологий синтеза материалов и создание прототипов устройств электроники будущего, в частности:

- Полупроводниковых пленок атомной толщины для гибкой электроники: графен, силицен, мультиграфен;

- Наногетероструктур на основе уникальных материалов: одностенные углеродные нанотрубки, фуллерены, алмазные пленки, топологические изоляторы, двумерный полуметалл для фотоники и электроники;

- Трехмерных метаматериалов и атомно-гладких зеркал для нанофотоники;
- Нейроморфных сетей, мемристоров, трехмерной печати.

Основными результатами работы станут прорывные результаты в области квантовой электроники, нанофотоники, спинтроники, плазмоники, нанолитографии, поставка пластин метаматериалов и углеродных слоев для производства высокочувствительных систем мониторинга, разработка и малые серии изделий элементов квантовой электроники, нового поколения сенсоров.

По каждому из блоков проработаны технологические процессы и отобрано современное технологическое оборудование, необходимое для функционирования ЦЕНТРА НАНОТЕХНОЛОГИЙ. Проведены оценки потребности Центра по требуемым помещениям различного класса чистоты, по затратам на проектирование, строительство, на технологическое, инженерное и вспомогательное оборудование, на текущее обслуживание, на сырьевые ресурсы, по затратам на персонал, наладку оборудования и обучение персонала, на инфраструктуру и детально представлены в Паспорте проекта.

ИФП СО РАН совместно с рядом институтов и промышленных предприятий выполнили предпроектную планировку ЦЕНТРА НАНОТЕХНОЛОГИЙ. Центр будет способствовать опережающему созданию точек роста электроники будущего на новых физических принципах, выполнению проектов полного цикла и передаче технологий и результатов НИР и ОКР на ведущие электронные предприятия России.

Реализация инвестиционного проекта будет иметь большой экономический и социальный эффекты.

Экономический эффект заключается в:

- устойчивом развитии электронной промышленности РФ через развитие технологий синтеза ключевых полупроводниковых материалов и наносистем (поставка пластин, малые серии изделий, передача технологий);

- создании конкурентоспособной высокотехнологичной, импортозамещающей электронной компонентной базы для радиационно-стойкой электроники, СВЧ-связи, ИК-техники, радиофотоники, оптоэлектроники в интересах ОПК, МЧС и других ведомств;

- реализации условий внедрения наукоемкой продукции на предприятиях индустриальных партнеров с выходом на международные рынки.

Значительным будет и *социальный эффект* для сибирского региона и страны в целом от реализации проекта, поскольку будут:

- созданы новые высокотехнологичные рабочие места (около 100, при общей численности более 400 новых рабочих мест);

- обеспечены условия для притяжения высококвалифицированных кадров, талантливой молодежи для работы в области квантовой электроники и технологий на новых физических принципах.

Институт обладает необходимым кадровым потенциалом и высокоэффективной системой подготовки кадров на базе ведущих ВУЗов Новосибирска и Сибирского региона (НГУ, НГТУ, ТГУ, СибГАУ, СФУ и др.). На настоящий момент в Институте работает около 1000 человек, в том числе: научных сотрудников – 227 человека, из них 3 – академика РАН, 3 – члена-корреспондента РАН, 41 доктор наук, 140 кандидатов наук. В Институте действует аспирантура, в которой на данный момент проходит обучение 30 человек. Привлечение в Центр молодых кадров обеспечено путем организации непрерывного научно-образовательного процесса бакалавров и

магистрантов через базовые кафедры физики полупроводников Новосибирского государственного университета, кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники Новосибирского технического университета, кафедры вычислительных систем Факультета информатики и вычислительной техники Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Потребность Центра в кадрах составляет 100 человек.

Центр будет способствовать подготовке кадров для новой экономики и высокотехнологических предприятий электронной промышленности.

Расположение объектов Центра нанотехнологий предполагается на землях Института физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН. Имеются как свободные части участков, так и недостроенные объекты на этих участках для расположения Центра. Центр нанотехнологий станет одним из ключевых элементов реализации Программы реиндустриализации экономики Новосибирской области до 2025 года.

ЦЕНТР НАНОТЕХНОЛОГИЙ станет точкой притяжения не только академических институтов и университетов, но и промышленных партнеров, которые вошли в состав Совета Центра НАНОТЕХНОЛОГИЙ. Заинтересованность в создании ЦЕНТРА проявили 25 ведущих наукоемких промышленных предприятий, среди которых:

- ОАО РОСЭЛЕКТРОНИКА (НПП «Исток», НПП «ЦиклонН» НПП «Сапфир», НПП «Восток»);
- Швабе, РОСКОСМОС, Алмаз-Антей;
- ЗАО «НПФ «Микран», Октава, Радиосвязь и др. (более 10 предприятий);
- АО «Новосибирский завод полупроводниковых приборов с ОКБ» (АО «НЗПП с ОКБ»);
- Новосибирский завод имени Коминтерна (АО НПО НИИИП НЗиК);
- АО «Новосибирский завод радиодеталей «Оксид» (АО «НЗР «Оксид»);
- передовые предприятия РФ: Микрон (г. Зеленоград), Ангстрем (г. Зеленоград), НПП «Пульсар» (Москва), ОАО «Орион» (Москва);
- «Электровыпрямитель», ОАО «Контур»;
- ООО «Медико- Биологический союз», НПО «Вектор», научные лаборатории, производители аналитического и лабораторного оборудования.



Рис. 3. Участники проекта: интеграционный эффект

Пока на различных государственных площадках обсуждают пути коммерциализации научных знаний, ИФП СО РАН и индустриальный партнер новосибирское предприятие АО «Экран - оптические системы», входящее в состав ЗАО «РАТМ Холдинг», подписали соглашение о сотрудничестве в программе Академгородок 2.0, в рамках которого ИФП СО РАН будет поставлено промышленное оборудование для разработки промышленных технологий производства полупроводниковых гетероструктур – необходимого компонента электронной базы современных телекоммуникационных систем, систем связи и цифровой экономики. Институт разрабатывает технологии, а индустриальный партнер – занимается производством и коммерциализацией высокотехнологического продукта. Только на первом этапе вложено полмиллиарда, исчисляемого в рублевом эквиваленте. Так стартовал инвестиционный проект по созданию промышленного производства полупроводниковых гетероструктур и полупроводниковых приборов на их основе. Задача же института – не только отработать технологию производства сложных многослойных эпитаксиальных пластин таким образом, чтобы производство было изначально гибким, с возможностью в течение двух-трех месяцев перестроить на новые виды изделий, но и подготовить кадры. Сильной стороной проекта является реализация максимально короткой цепочки коммерциализации научных знаний - создание проекта полного цикла, основанного на оптимальном сочетании фундаментальных и прикладных исследований, создании опытных образцов, выпуска малых серий разрабатываемых изделий.

Подытоживая вышесказанное можно уверенно заявить, что Центр нанотехнологий выведет исследования на новый качественный уровень, станет научной площадкой для выполнения междисциплинарных проектов и будет способствовать привлечению талантливой молодежи в науку.

Успешная реализация ЦЕНТРА НАНОТЕХНОЛОГИЙ позволит решить ряд задач, стоящих перед РФ в целом:

- Проведение и продвижение результатов фундаментальных исследований институтов СО РАН на российский и мировой рынки;
- Сокращение технологического отставания российских разработчиков и производителей электроники;
- Повышение эффективности разработок и производства микроэлектроники;
- Повышение экспортного потенциала и выход российских R&D компаний, работающих в области микроэлектроники, на международный рынок;
- Удержание и развитие кадрового потенциала отрасли;
- Существенное увеличение объемов российского рынка микроэлектроники.

Эти цели могут быть реализованы путем создания в Новосибирской области экосистемы, кластера био- и наноэлектроники, объединяющего ведущие научные центры СО РАН, ВУЗы, Центры коллективного пользования СО РАН, предприятий микроэлектроники. Ключевую, объединяющую роль в данном кластере может выполнить создаваемый ЦЕНТР НАНОТЕХНОЛОГИЙ.

В качестве конкретных задач ЦЕНТРА, можно назвать:

- Прототипирование лабораторных разработок научно-исследовательских институтов СО РАН при решении задач государственного заказа, производство на апробированных разработках прототипов малых и средних серий продукции;
- Прототипирование лабораторных разработок при создании новых наукоемких продуктовых и технологических решений в интересах среднего и крупного бизнеса;

- Создание новых малых инновационных предприятий на основе разработанных продуктов и технологий, опирающихся на услуги, предоставляемые Центром прототипирования;
- Оказание технологических и инжиниринговых услуг резидентам Технопарка и предприятиям г. Новосибирска и других регионов на современном уровне;
- Проведение заказных НИР и ОКР для российских и зарубежных предприятий электронной промышленности.
- Расширение экспериментальных возможностей НИУ и ВУЗов особенно в области междисциплинарных исследований;
- Интеграция в мировое сообщество разработчиков и производителей микро- и нанoeлектроники через приобретение и внедрение стандартов и библиотек архитектурных и процессинговых программ и налаживание кооперационных связей;
- Участие в программах подготовки и переподготовки специалистов в области современных технологий био- и нанoeлектроники.

Основная стратегия ЦЕНТРА НАНОТЕХНОЛОГИЙ - *стратегия технологического развития Сибирского федерального округа и России в целом, а ожидаемыми результатами реализации ЦЕНТРА будут:*

- создание Центра нанотехнологий мирового уровня на основе квантовых полупроводниковых технологий;
- прорывные решения по ЭКБ для нанoeлектроники, нанофононики, одноэлектроники, однофотоники, спинтроники, плазмоники и нанолитографии;
- мелкосерийное производство современной и перспективной ЭКБ для систем радиолокации, СВЧ-техники, радиационно-стойкой электроники, телекоммуникации, энергетики, авионики и приборостроения;
- разработка микродатчиков и сенсоров нового поколения, мегапиксельных, многоспектральных фотоприемных ИК-матриц для промышленности и медицины;
- опережающее создание точек роста электроники будущего на новых физических принципах, выполнение проектов полного цикла и передача технологий и результатов НИР и ОКР на ведущие электронные предприятия России.

И.В. Бычков¹

Создание единой комплексной системы цифрового мониторинга экосистемы озера Байкал

В течение нескольких последних лет происходят изменения в растительных ландшафтах мелководной зоны Байкала. Впервые эти изменения в виде массового разрастания нитчатых водорослей были обнаружены водолазной группой Лимнологического института в 2011 г. в зоне, прилегающей к п. Листвянка. Далее количество подобных горячих точек на Байкале быстро увеличивалось. И во многом столь масштабные изменения подводных ландшафтов стали неожиданными, т.е. существующие схемы и методы мониторинга не способствовали заблаговременному обнаружению угрожающих предпосылок к эвтрофикации мелководной зоны озера.

¹ Директор Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, академик РАН

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 2 февраля 2015 г. N 85 «Об утверждении Положения о государственном экологическом мониторинге уникальной экологической системы озера Байкал», он является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды).

Полномочия по Государственному экологическому мониторингу экологической системы озера установлены за Росгидрометом, однако – «в пределах своей компетенции». В то же время непосредственно ведомством осуществляются только четыре вида мониторинга и участие в мониторинге водных объектов (в соответствии с Положением о Росгидромете). По иным подсистемам экологического мониторинга полномочия установлены за федеральными органами исполнительной власти, ГК «Росатом» и субъектами Российской Федерации.

Росгидромету не предоставлены и административные инструменты реализации своих полномочий: ни в положении о ведомстве, ни в нормативных актах по экологическому мониторингу, ни в ФЦП по Байкалу нет специальных полномочий и инструментов для реализации поставленной задачи.

Поэтому, во-первых, требуются обоснование и предложение правовых норм о порядке государственного экологического мониторинга уникальной экологической системы оз. Байкал. Предложения должны определить порядок осуществления, организации и функционирования государственного экологического мониторинга экологической системы озера, порядок встраивания в единую систему мониторинга, порядок включения его информации в государственный фонд данных государственного экологического мониторинга, перечень видов включаемой информации, порядок и условия ее предоставления, а также порядок обмена такой информацией. А во-вторых, необходимы обоснование и предложения требований к формату и содержанию информации, полученной при осуществлении государственного мониторинга в рамках подсистемы государственного мониторинга уникальной экологической системы Байкала и включаемой в государственный фонд данных государственного экологического мониторинга, а также к срокам ее предоставления.

Требования к формату и содержанию информации, полученной при осуществлении государственного мониторинга в рамках подсистемы государственного мониторинга экологической системы Байкала, должны включать как общие положения (анализ информации действующего экологического мониторинга экологической системы озера и его места в общероссийской системе государственного экологического мониторинга, текущих проблем в рамках ведомственных и межведомственных задач; необходимые специальные виды экологического мониторинга для учета специфики уникальной экосистемы оз. Байкал), так и предложения для развития направлений мониторинга с учетом специфики экосистемы Байкала (перечень наблюдений и измерений, комплекс методов и регламент их проведения, расположение пунктов наблюдений и измерений; предлагаемые организации-исполнители; организации, осуществляющие методическое обеспечение; организации, осуществляющие информационное сопровождение; оценка состава оборудования для формирования современного мониторинга уникальной экологической системы оз. Байкал).

Кроме того, в данные требования должны входить предложения по использованию действующих и созданию новых систем коммуникации для формирования информационной системы мониторинга экосистемы Байкала и Байкальской природной территории, а также необходимые научные, в том числе фундаментальные, исследования для формирования комплексной системы мониторинга (и, соответственно, обоснование таковых тем или направлений исследований, сроки

предполагаемого получения результатов для включения в состав действующей системы мониторинга).

Развитие комплексной системы мониторинга оз. Байкал и БПТ предполагает следующие ключевые положения:

- определение параметров фонового состояния окружающей среды в исследуемом регионе;

- выявление критических участков, в наибольшей степени подверженных экологическому риску факторов антропогенного воздействия;

- обоснование и выбор представительных объектов биоты, в том числе видов-эндемиков, для оценки экологических последствий загрязнения прибрежных вод биогенными элементами и вредными химическими веществами с учетом возможных изменений термического режима прибрежных вод;

- определение индикаторов-предвестников неблагоприятной экологической ситуации в прибрежных водах оз. Байкал;

- оценка и прогноз экологических рисков антропогенного воздействия на гидробиоценозы литоральной зоны озера;

- фундаментальные и аналитические исследования состояния экосистемы уникального природного комплекса и тенденций его развития в зависимости от антропогенных и природных, региональных и глобальных факторов;

- создание системы мониторинга, позволяющей выявлять источники изменений принципиальных характеристик природного объекта в целях предотвращения антропогенных угроз, а также обоснования управляющих воздействий для поддержания уникальных свойств Байкала.

Государственный мониторинг за Байкалом осуществляют структуры Росгидромета. В автоматическом режиме работают два поста химического контроля воды, расположены в п. Листвянка и г. Байкальске. Посты автоматического контроля воздуха локализованы в Южной котловине озера в г. Селенгинск, Байкальск и п. Брянск. Помимо автоматических постов ведутся наблюдения за гидрохимическими и гидрофизическими параметрами Байкала по стандартной сетке из 16 станций, расположенных вдоль осевой части Байкала. Имеется три полигона (г. Байкальск, г. Северобайкальск, район дельты Селенги), на которых изучается геохимический, микробиальный состав донных отложений, фито- и зоопланктон в наддонной воде. Гидрохимические наблюдения за реками, притоками Байкала ведутся с месячным или более временным разрешением. Таким образом, регулярными мониторинговыми наблюдениями за состоянием окружающей среды, проводимыми структурами Минприроды РФ, не охвачена практически вся прибрежная и мелководная зона Байкала, и атмосферные выпадения над Центральной и Северной территорией.

При этом антропогенная нагрузка наиболее интенсивна именно на мелководную зону. Например, в районе Малого моря и о. Ольхон в «высокий» летний сезон могут находиться до семи тысяч туристов в сутки, и этот поток непрерывно увеличивается. Повышенный приток биогенных компонентов в сочетании с высокой температурой воды способствуют интенсивному развитию фито-микробных сообществ в этой зоне.

Совершенно очевидно, что в текущей ситуации: 1) полноценный государственный мониторинг по всей акватории озера в режиме реального времени за гидрохимическими, гидрофизическими параметрами не ведется, присутствуют только сезонные наблюдения; 2) большая часть мелководной зоны Байкала, характеризующаяся высокой антропогенной нагрузкой (Малое море, Баргузинский и Чивыркуйский заливы, Селенгинское мелководье, южная оконечность Байкала), остается вне системных наблюдений; 3) существующие схемы мониторинга не

позволяют оперативно реагировать на изменения в экосистеме Байкала природного и антропогенного характера, и требуется ее существенная модернизация.

В целях увеличения эффективности мониторинга требуется усилить три составляющие.

Первая составляющая – дополнить существующие схемы сезонного мониторинга технологической компонентой, позволяющей регистрировать гидрофизические, гидрохимические, газовые, видео-ландшафтные параметры водной среды и атмосферы в квазинепрерывном режиме, с онлайн трансляцией информации в единый архивно-информационный центр. В первую очередь следует устанавливать подобные станции в местах с высокой антропогенной нагрузкой на прибрежные ландшафты. Станции, регистрирующие параметры глубинного Байкала, должны быть установлены вдоль его осевой части. При таком подходе информация о «пульсе Байкала» будет непрерывно транслироваться в исследовательский центр. В настоящее время доступны многочисленные вариации автоматических станций и логгеров. Для создания распределенной сети, которая будет обеспечивать непрерывное измерение параметров экологической обстановки предлагается совместно с автономными долговременными донными измерительными станциями, которые стационарно установлены в оз. Байкал, использовать глубоководные обитаемые (ГОА) необитаемые подводные и надводные аппараты, как автономные, так и телеуправляемые, автоматические судовые комплексы, роботизированные системы низковысотного дистанционного зондирования на базе современных БПЛА. Будут использоваться также данные дистанционного зондирования Земли космическими системами. Периодический сбор, доставка, передача накопленной информации, а также обслуживание элементов питания долговременных станций возлагается на необитаемые подводные аппараты. Кроме того, такие аппараты самостоятельно должны осуществлять мониторинг развернутой сети и оперативно измерять доступные параметры и брать необходимые пробы в заданных областях.

Вторая составляющая – модернизация методов мониторинга биоразнообразия Байкала. Сейчас это высоко трудозатратные методики, требующие наличия высококвалифицированных специалистов, большой продолжительности выполнения анализа и затратные экспедиционные мероприятия по получению биологического материала. Между тем эти недостатки могут быть существенным образом нивелированы на основе применения современных молекулярно-генетических методов. Например, качественное и количественное определение биологических видов, присутствующих в точке отбора, на основе анализа пула ДНК, содержащихся в пробе воды или донных отложениях. Такой «бесконтактный» вид мониторинга широко применяется в мире, но в исследованиях на Байкале его не используют.

Третья составляющая – создание единого междисциплинарного центра экологического мониторинга, обеспечивающего координацию межведомственного и межрегионального взаимодействия. На базе этого центра будет осуществляться хранение и обработки данных экологического мониторинга и дешифрирование данных дистанционного зондирования Байкальской природной территории, с возможностью прямого информационного доступа к базе данных центра. Сборка разрозненных междисциплинарных данных (Big Data) в единый центр позволит значительно повысить качество прогнозных моделей по развитию экосистемы Байкала. Подобный дата центр реализован в рамках Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA).

Важным элементом комплексного мониторинга оз. Байкал является получение и совместный с другими данными анализ активности проявления опасных геологических процессов (ОПГ) геодинамической, гидрогеологической и инженерно-

геологической природы в центральной экономической зоне (ЦЭЗ БПТ). Это связано с тем, что озеро Байкал заполняет тектоническую котловину, формирующуюся в настоящее время при растяжении земной коры, которое реализуется в виде подвижек по активным разломам Прибайкалья. Тектонический процесс инициирует активизацию опасных геологических явлений, включающих землетрясения, сели, обвалы и оползни, которые в свою очередь приводят к нарушению экологического равновесия в системе оз. Байкал. Кроме того, это создает угрозу для нормального функционирования магистральных коммуникаций, ГЭС и опасных производств в регионе, относящемся по классификации МЧС России к первой категории опасности.

Как следствие, необходимы систематические исследования перемещений и деформаций земной поверхности в крупных разломных зонах Прибайкалья, мониторинг сейсмического режима и газовых эманаций, вибросейсмический мониторинг, постоянные наблюдения за режимом подземных вод и активностью инженерно-геологических процессов. С этой целью предлагается организовать комплексный мониторинг опасных геодинамических, гидрогеологических и инженерно-геологических явлений на территории ЦЭЗ БПТ и установить главные закономерности их проявления и влияния на экосистему оз. Байкал.

Для проведения прецизионных наблюдений необходимо создание сети полигонов для мониторинга ОГП, располагающихся по периметру озера. Ключевым элементом такого полигона является станция инструментальных наблюдений за временными вариациями параметров таких процессов, как землетрясения, деформации и движения породного массива, газовые эманации, режим подземных вод, динамика мерзлотных явлений и другие. Исходя из тектонического строения Байкальской впадины, минимальное количество таких станций в Прибайкалье – 10. В настоящее время функционирует две станции на западном борту впадины, оснащенных приборами для слежения за процессами геодинамической природы.

Функционирование подсистемы мониторинга опасных геологических процессов, созданной в рамках первого этапа системы комплексного мониторинга оз. Байкала, позволит:

- оценить величины и скорости современных перемещений и деформаций литосферы в пределах Байкальской зоны растяжения и сопредельных территорий;
- определить степень влияния пространственно-временных вариаций перемещений и деформаций литосферы на интенсивность опасных процессов (в т.ч. сейсмичность) в пределах Байкальской зоны растяжения и сопредельных территорий;
- провести (в т.ч. в режиме реального времени) мониторинг деформаций на малых и больших базах, измерить концентрацию радона и сформировать по измеряемым параметрам базы данных, а также управляющие ими специализированные ГИС;
- провести (в т.ч. в режиме реального времени) сейсмический и микросейсмический мониторинг на стратегически важных объектах (плотина ГЭС), оценить связь микросейсмического режима с глобальными и региональными опасными процессами, сформировать базу данных по сильным движениям;
- провести мониторинг сейсмичности активных разломных зон ЦЭЗ БПТ и установить главные закономерности их сейсмического режима;
- провести активный вибросейсмический мониторинг аномалий напряженно-деформированного состояния сейсмоактивной среды в области среднего Байкала;
- создать фундаментальные основы технологии средне- и краткосрочного прогноза землетрясений, опасных эманационных и других процессов в Прибайкалье и смежных регионах;
- провести, с использованием глубоководных обитаемых и необитаемых подводных аппаратов, поиск и мониторинг выделений углеводородов (включая

газогидраты) и грязевых вулканов на дне оз. Байкал, а также связанных с этими объектами форм байкальской фауны;

- провести (в т.ч. в режиме реального времени) мониторинг температурного режима грунтов и карстовых массивов, опасных экзогенных процессов (сели, оползни, обвалы, осыпи, абразия и переработка берегов), с измерением основных физических параметров и индикаторов загрязнения вод, сформировать по измеряемым параметрам базы данных, а также управляющие ими специализированные ГИС;

- провести (в т.ч. в режиме реального времени) мониторинг режима подземных и поверхностных вод, с измерением основных физических параметров и индикаторов загрязнения вод, сформировать по измеряемым параметрам базы данных, а также управляющие ими специализированные ГИС;

- создать модели взаимосвязи подземных и поверхностных вод, температурного режима, влажности грунтов с температурой воздуха и иными климатическими параметрами, разработать основы для прогноза изменений;

- создать модели взаимосвязи современной геодинамики Байкальской зоны растяжения с коллизийными процессами на восточной и южной окраинах Евразийской плиты.

В итоге осуществления мероприятий по организации сети полигонов для мониторинга ОГП на территории ЦЭЗ БПТ будут получены ряды уникальных комплексных измерений, характеризующие вариации современного напряженно-деформированного состояния и сейсмичность на разных масштабных уровнях, не имеющие аналогов в исследуемом в России. По своим характеристикам, благодаря новому современному оборудованию, они будут соответствовать данным мирового уровня и приведут к новому качеству исследований. Эти данные будут востребованы научными и научно-производственными организациями, занимающимися сейсмическим мониторингом, сейсмическим районированием Прибайкалья и главное – станут основой для изучения опасных природных процессов и прогнозирования их катастрофических проявлений, способных нарушить экологическую обстановку оз. Байкал.

Мониторинг и прогнозирование развития гидро-, энерго-, экологического пространства озера Байкал является другим важным и перспективным направлением. Состояние гидро-, энерго-, экологического пространства зависит от атмосферной среды, гидрогеологических условий прибрежной территории, воздействия жизнедеятельности проживающего вдоль Байкала населения, реализации крупных проектов в прибрежной зоне и дельте рек и т.п. Многие из перечисленных факторов наиболее остро проявились именно в последние годы и значительно повлияли на уровень воды в озере Байкал, который опустился ниже нормативного, а также привели к росту экологической нагрузки. Отсутствие многолетних данных наблюдений приточности и стока воды из Байкала, изменений уровня воды в нем не позволяют получить обоснованные результаты по влиянию сооружения монгольских гидроэлектростанций (ГЭС), планируемых на реке Селенга и ее притоках, на биосферу Байкала и дать им соответствующую оценку.

Наличие на единственной вытекающей из оз. Байкал реке Ангаре каскада из четырех ГЭС требует осуществления синхронизации сработки водохранилищ с прогнозируемыми объемами притоков воды и ее уровнем в озере. Гидроэнергетическая система Байкала уникальна тем, что она имеет созданную человеком систему регулирования его уровня путем сработки или наполнения имеющихся водохранилищ ангарских ГЭС многолетнего регулирования. Энергетика байкальского пространства является самодостаточной, что является основой для

развития экологически чистого энергоснабжения проживающего на прибрежной территории населения.

В связи с этим, а также для изучения энергообмена, осуществляемого в атмосфере Байкала, необходимо вести постоянный мониторинг (с достаточным пространственным и временным разрешением) притоков и стоков водных ресурсов, активности солнечного излучения, ветропотоков, состояния атмосферы, уровня ее загрязнения, потенциала геотермального тепла и т.п. Станции слежения за притоками и стоками воды должны быть установлены в устье рек и истоке р. Ангара, станции слежения за уровнем загрязнения атмосферы необходимо располагать в зоне населенных пунктов, станции мониторинга энергопотоков возобновляемых энергоресурсов также должны быть расположены в местах обитания населения.

Мониторинг гидро-, энерго-, экологического пространства озера Байкал обеспечит необходимыми данными для решения таких актуальных задач как:

- прогнозирование региональных изменений климата на Байкальской природной территории через исследование флуктуации энергетических потоков в атмосфере и построение энергетического баланса озера Байкал;
- оценку и прогнозирование влияния внешних воздействий на абиотические факторы водной среды оз. Байкал;
- оценку и прогнозирование изменений гидрологических процессов оз. Байкал и воздействия на них экзогенных (внешних) и эндогенных (внутренних) факторов;
- оценку гидроэнергетического потенциала оз. Байкал и его изменение в зависимости от природно-климатических факторов;
- формирование синхронизированной системы управления гидроэнергетическими потоками притоков, стока и уровня воды в оз. Байкал с учетом имеющейся возможности регулирования стока р. Ангара с помощью каскада ГЭС;
- определение количества солнечной и ветровой энергии, поступающей в пространственные границы оз. Байкал;
- оценку возобновляемых энергетических ресурсов и выбор оптимальных технологий их использования для обеспечения социальных потребностей и хозяйственной деятельности населения.

С целью мониторинга гидроморфологических процессов и современных тектонических явлений в устьевых системах притоков озера Байкал предлагается организовать мониторинг процессов седиментогенеза и речного стока и оценку изменений параметров субаэральных и субаквальных частей устьев и акваторий, берегов и донных осадков.

Важнейшим материалом для исследования изменения условий природной среды и климата являются донные отложения озера и вторичные карбонатные образования пещер. Наличие хорошо датированных архивных секций осадочных кернов, спелеотем, полученных и получаемых по различным проектам позволяет создать высокоразрешающую литогеохимическую базу данных по непрерывным разрезам донных отложений озера Байкал и сопредельных территорий.

Сформированная база с учетом данных о литологии, составе, изотопно-геохимическим характеристикам осадков будет доступна в онлайн-режиме и будет использоваться исследователями динамики терригенного осадконакопления при реконструкциях природной среды, климата и тектогенной нагрузки, а также исследованиях автохтонной и аллохтонной органической компоненты при современных и палео- экологических реконструкциях.

Организация в рамках проектируемой единой комплексной системы цифрового мониторинга экосистемы озера Байкал подсистемы геофизического мониторинга

(кластера геофизических инструментов и нового информационного центра космического мониторинга) позволит проводить:

- мониторинг параметров атмосферы в их связи с сейсмической активностью Байкальского региона и антропогенными воздействиями,
- изучение процессов передачи энергии и формирования возмущений в атмосфере Земли, обусловленных воздействием мощных наземных источников, связанных с тектонической активностью,
- мониторинг геомагнитного поля, и его возмущений,
- оперативное обнаружение и мониторинг лесных пожаров,
- мониторинг изменчивости состояния растительного покрова в результате природных и антропогенных воздействий.

Климатические, геохимические и ландшафтные изменения в зоне Байкала обуславливают не только изменения в структуре и характере флоры, фауны и микробиологическом разнообразии, но и существенным образом влияют на формирование здоровья населения.

В последние годы обострились экологические проблемы в лесах Байкальской природной территории, что создает объективную угрозу экосистеме озера Байкал. Уменьшение лесопокрытых территорий, способно приводить к снижению уровня Байкала, в том числе в результате обмеления притоков Байкала, эрозии берегов, катастрофическим наводнениям. Растут площади поврежденных и усыхающих древостоев, что ухудшает и без того сложную лесопожарную обстановку. В рамках проекта будет создана целостная система лесного мониторинга Байкальской природной территории, для отслеживания всех основных экологических рисков: лесные пожары, повреждение бактериальными болезнями и насекомыми, техногенное повреждение, внедрение чужеродной флоры и оскудение биоразнообразия, на основе дистанционного мониторинга в комплексе с наземным сбором информации.

Лесной мониторинг включает следующие основные виды наблюдений:

- мониторинг состояния лесных ресурсов (лесопатологический мониторинг);
- лесопожарный мониторинг;
- мониторинг состояния лесов в зонах техногенного загрязнения;
- мониторинг фиторазнообразия БПТ.

Будут разработаны новые технологии, предназначенные для создания широкого спектра информационных продуктов, характеризующих состояние и динамику растительного покрова наземных экосистем Байкальской природной территории:

- технология динамического картографирования лесов и других типов наземных экосистем по временным сериям данных дистанционных наблюдений на различных уровнях пространственной дифференциации;
- технология выявления и оценки изменений состояния растительного покрова по временным сериям данных дистанционных наблюдений под воздействием деструктивных факторов (включая пожары, вырубку, вспышки массового размножения насекомых, техногенные загрязнения, аномальные метеорологические явления);
- технология оценки биометрических и продукционных характеристик растительности по данным дистанционных наблюдений (включая плотность проективного покрытия, долю поглощённой фотосинтетически активной радиации, чистую первичную продукцию);
- технология обеспечения оперативного представления данных пользователям, включая долговременные архивы данных о характеристиках растительных ресурсов, полученные на основе методов дистанционного зондирования.

Предлагается модернизировать существующие пункты удаленного мониторинга: на архипелаге Ушканьи острова – за лежбищем байкальской нерпы и погодными условиями; в заливе Лиственничном на глубинах 200 м – за рыбами, нерпой, зообентосом и зоопланктоном; на глубине 5 м – за губками, рыбами, нерпой, нырковыми птицами и фитобентосом; у незамерзающего истока р. Ангары – за водоплавающими птицами.

Необходимо обеспечить информационное взаимодействие с существующими ведомственными системами мониторинга в ЦЭЗ БПТ.

В качестве одной из ключевых инфраструктурных составляющих проекта планируется создание на базе двух действующих центров коллективного пользования (ЦКП) ИДСТУ СО РАН (ЦКП «Интегрированная информационно-вычислительная сеть Иркутского научно-образовательного комплекса») и ЦКП «Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН») единого центра обработки данных (ЦОД) мониторинга, который обеспечит сбор, передачу, поиск, хранение, и параллельную обработку больших объемов данных, возможность онлайн-доступа к данным, каталогам, сервисам и информационно-аналитическим системам, возможность проведения на основе полученных данных оценки и прогноза экологических и климатических изменений Байкала и прилегающих территорий с применением средств суперкомпьютерного моделирования и облачных вычислений.

Для проведения мониторинга озера Байкал будут разработаны эффективные методы и технологии, а также создана распределенная сервис-ориентированная информационно-аналитическая среда (ИАС) геопортального типа, включающая подсистемы сбора, передачи, хранения, поиска и обработки больших объемов разноформатных пространственно-временных данных и знаний с использованием оборудования центров коллективного пользования и образующих в рамках проекта единый центр обработки данных мониторинга (ЦОД). При этом ЦКП ИИВС ИРНОК отводится роль базовой технологической платформы сбора, передачи, хранения, обработки и представления данных, а ЦКП ИСКЦ должен обеспечивать непрерывный доступ пользователей и сервисов к высокопроизводительным вычислительным ресурсам для параллельной обработки данных мониторинга, а также для решения ресурсоемких задач оценки и прогноза экологических и климатических изменений с применением технологий суперкомпьютерного моделирования.

Методология исследований по проекту базируется на комплексном применении сервис-ориентированной парадигмы и современных технологий распределенной обработки данных, использовании декларативных спецификаций и интеллектуализации с использованием методов и технологий глубокого обучения. При этом декларативные спецификации обеспечивают компактность, выразительность и предметную ориентированность, включая возможность интерпретации трансформационными и другими процедурами. В свою очередь, использование сервис-ориентированного подхода позволяет проводить полноценный учет распределенных информационных ресурсов в сочетании с легкостью тестирования, масштабируемостью и возможностью повторного использования создаваемых сервисов.

Для организации комплексного мониторинга экологических систем озера Байкал сервисы интегрируются с помощью логических конструкций для решения задач обработки данных сенсоров, управления потоком выполнения и т.д. Разнообразие коллекций разрабатываемых сервисов позволяет передавать данные между ними, согласовывать форматы данных, запускать асинхронные вычислительные процессы.

Информационно-аналитическая среда должна с заданной степенью надежности сохранять исходные данные любых видов: временные ряды с результатами измерений

различных датчиков, материалы экспедиций, космические снимки, векторные карты и т.д. Все эти данные, характеризующиеся пространственной и временной привязкой, могут иметь ряд дополнительных атрибутов, специфичных для конкретного вида информации.

Структура геопортальной сервис-ориентированной информационно-аналитической среды системы мониторинга озера Байкал» представлена на рис. 1.

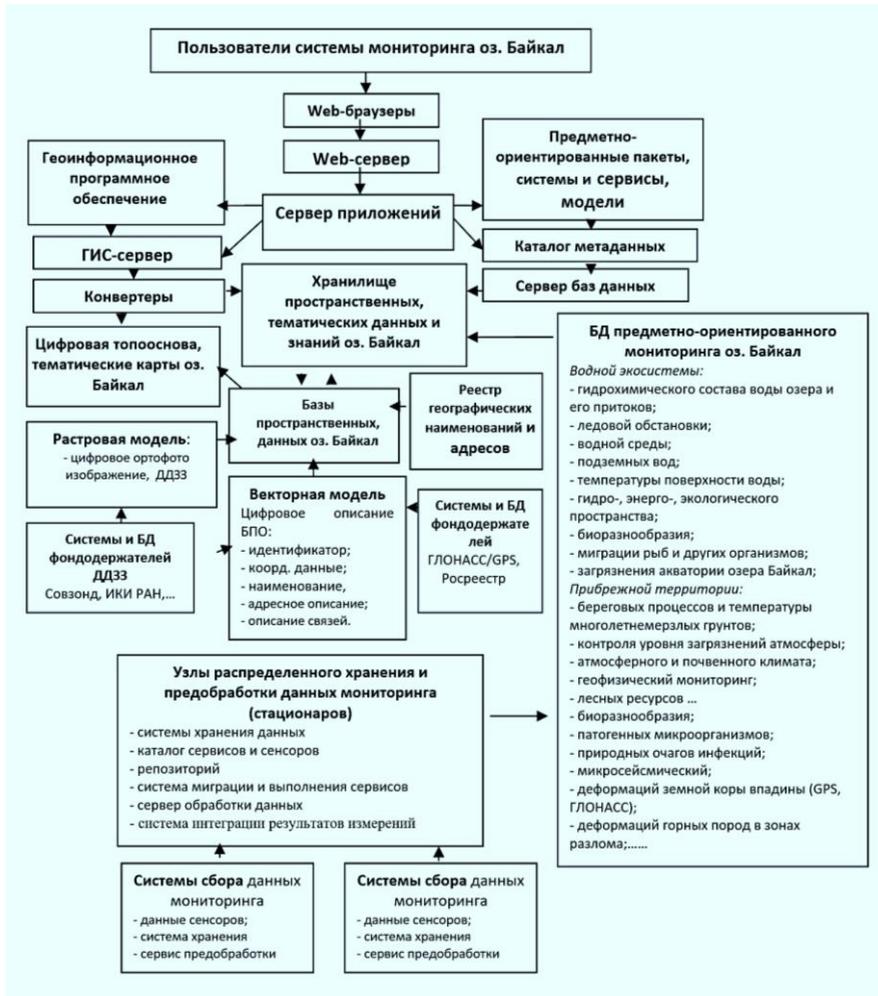


Рис. 1. Структура ИАС

На сегодняшний день развитие сетей передачи данных обеспечивает высокую скорость обмена информацией и широкое покрытие. Активно внедряются разнородные информационные и программно-аппаратные системы. Современный этап реализации цифрового мониторинга экосистемы озера Байкал базируется на автоматизированном сборе пространственно-временных данных с различных сенсоров для получения точной и оперативной информации.

Геопортальная сервис-ориентированная информационно-аналитическая среда комплексного цифрового мониторинга озера Байкал должна обеспечивать:

- 1) онлайн-доступ к распределенным сенсорам;
- 2) доступ к архивным данным сенсоров;
- 3) высокую скорость обработки данных;
- 4) доступ к высокопроизводительным вычислительным ресурсам и ресурсам хранения данных центров коллективного пользования;
- 5) масштабирование вычислительных ресурсов и ресурсов хранения и обработки данных центров коллективного пользования с учетом роста числа задач и объемов данных мониторинга;
- 6) возможность использования различных методов и технологий обработки данных.

Таким образом, формируемая схема глобального, комплексного мониторинга экосистемы озера Байкал и прилегающих территорий должна сочетать в себе: - оперативность получения и обработки информации о текущем состоянии Байкала, за счет перехода на новый технологический уклад; -междисциплинарную и межведомственную интегрированность схем и методов мониторинга, в рамках единого центра исследований; - широкую информационную доступность к получаемым результатам.

Новизна создаваемой многофункциональной системы мониторинга заключается комплексном характере, так и в его непрерывности (данные о состоянии озера фиксируются в режиме 24/7/365), распределенности объектов и средств наблюдений, больших объемах разноформатных пространственно-временных данных, получаемых с сенсоров и измерительных приборов, а также необходимости оперативной обработки данных наблюдений и доступа к ним, построении аналитических отчетов и прогнозных моделей на основе получаемых данных.

В.В. Альт¹

Проекты комплексного развития СО РАН в области сельскохозяйственных наук

Уважаемые коллеги! Если говорить о Сибири как о территории сельскохозяйственной, то мы должны помнить, что, если принять агроклиматический потенциал России за единицу, то в Западной Сибири это 0,58– 0,63, в Забайкалье и в Тыве – 0,38– 0,41, в Краснодарском крае 1,5, в Европе, в Германии и Франции – 2,5. Вот в этих условиях мы должны понимать, что не все так просто радужно, как мы иногда представляем. То у нас зерна много, то мяса много, то цена падает, а на самом деле дело совсем не в этом.

В соответствии с научным обеспечением реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации и обеспечением продовольственной безопасности страны, Объединенный ученый совет по сельскохозяйственным наукам Сибирского отделения Российской академии наук рассмотрел 8 проектов.

Они рассмотрены всеми экспертами, и одобрены. По всем проектам есть одно классическое замечание, что недостаточно полно разработаны бизнес-планы. В той стадии формирования проектов, в которой они сейчас есть, в них рассмотрены основные целевые задачи и основные показатели.

¹Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН, Руководитель СибФТИ, академик РАН

Нужно сказать, что первый проект СФНЦА РАН – это Сибирский центр селекции генетических и ветеринарных технологий в животноводстве. Второй центр – это также генетический центр по зерновым и кормовым культурам. Есть ли здесь у нас положительные результаты? Совсем недавно 2018 году в Каргатском районе Новосибирской области сорт «Новосибирская – 29», это сорт, созданный под руководством академика РАН Петра Лазаревича Гончарова, дал 6 тонн с гектара. Это сорт яровой пшеницы. Что, примерно, в 3,5 или в 3 раза выше, чем в среднем по Новосибирской области. Результат получен в производственных условиях. Это говорит, что потенциал есть и он, путем создания таких центров по семеноводству, ветеринарии и животноводству позволит достигнуть принципиально новых результатов. Суть проекта - конечно, создание аграрного научно-технологического кластера, основой продукции которого будут передовые производственные технологии. Основная цель этих технологий – развитие аграрного сектора.

Следующий проект, который представлен инициатором проекта – Бурятский сельскохозяйственный институт. Проект селекционно-генетически репродукционный центр на основе номадного скота, который располагается на сегодняшний день в Республике Бурятия и Забайкальском крае. С использованием селекционных и биотехнологических методов будет развиваться эффективное воспроизводство животных. Нужно сказать, что эти территории действительно уникальны, потому что эти животные, которые там представлены, лошади, олени, яки, верблюды практически имеют круглогодичный выпас и обеспечивают производство мясной продукции с уникальными показателями. При этом институтом наработана уже на сегодняшний день технология трансплантации эмбрионов и искусственное осеменение путем формирования высококачественного племенного ядра и банка биоматериалов с устойчивым вложением средств и ресурсов для получения стабильного маржинального эффекта. Созданы опорные пункты. Они являются основой для реализации этого проекта.

Омским институтом Омского научного аграрного центра предлагается создание центра коллективного пользования по агрохимическим, биологическим и физико-химическим исследованиям в области сельского хозяйства, охватывающим птицеводство, ветеринарную медицину и, конечно же, растениеводство и земледелие. Проектом предполагается довести производство семян до тысячи тонн высоко элитных семян в год, создать опытно-экспериментальный центр по разработке биопрепаратов и лекарственных средств для ветеринарной практики.

Красноярский научный центр и обособленное подразделение его Красноярский сельскохозяйственный институт предлагают создать в Красноярском научном центре предлагают создать Восточно-Сибирский селекционный семеноводческий центр. На сегодня представлено предпроектное решение этого центра. Здесь более амбициозная задача – поднять использование сортов в Восточно-Сибирском регионе от 15–20 % до 40-50 % и при этом при всем обеспечить семенами высших репродукций Восточно-Сибирскую зону всю, а теперь и ту часть, которая отошла в Дальневосточный федеральный округ – это Бурятию и Забайкальский край. При этом они собираются, в отличие от омичей, даже сделать 10 000 тонн семян высших репродукций.

Одна из очень интересных территорий, которые у нас есть, и мы больше говорим о её геологическом развитии, – это Якутия. Якутия обладает уникальным набором северных домашних животных, которые при их условиях имеют круглогодичный выпас. При этом на базе существующих пород должны быть созданы новые породы и типы скота – это и крупнорогатый скот, и олени, ну и, конечно, уникальная порода лошадей. Лошади это выпасаются даже при глубине снега до 80 см или метра, копыта свободно.

Еще одна проблема в Сибирском регионе, которая существует на трансграничных территориях, особенно с Монголией. Инициатор этого проекта – Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири СФНЦА РАН и институты СО РАН, расположенные в Забайкальском крае. Проблема состоит в необходимости мониторинга и эффективного лечения заразных заболеваний, которые приходят к нам вместе с животными из Монголии. Самое крупное движение этих стад было зарегистрировано в 2008 году. Десятки тысяч дзерн двигались через российско-монгольскую границу. При этом, примерно, из них – треть больные животные.

Больные животные представляют угрозу для домашних животных и людей на российской территории, так как приходят в места выпаса домашних животных Забайкалья, и они контактируют с домашним скотом. Соответственно несут угрозу людям. Но надо помнить одно – что избавиться от них, как избавляются от них китайцы, мы не можем, потому что у нас дзерена занесена в Красную книгу и ее отстрел запрещен.

В заключение необходимо отметить следующее: ни один из этих проектов не предусматривается реализацию каким-нибудь одним научным учреждением, что все проекты комплексные и предусматривают глубокое участие субъектов федерации, а также Природнадзора, Сельхознадзора, Потребнадзора, кроме этого, все ветеринарные и фитосанитарные мероприятия реализуются с участием других федеральных структур. Давайте все помнить и понимать – что благополучие человека зависит от благополучия его пищи.

М.П. Лебедев¹

Научно-технологические основы создания международного центра по испытанию материалов, элементов техники и адаптации живых систем на Полюсе холода

Актуальность испытаний материалов, элементов техники и адаптации живых систем в условиях экстремально холодного климата, в частности, в арктической и субарктической зонах Северо-Востока России, обусловлен:

- 1) необходимостью обеспечения устойчивого развития и освоения минерально-сырьевой базы арктической и субарктической зон Северо-Востока России;
- 2) актуальными проблемами расселения населения из привлекательных для жизнедеятельности человека территорий в более жесткие;
- 3) необходимостью разработки программ адаптации человека и техники к экстремальным условиям среды, в т.ч. для перспектив освоения ближнего космоса.

Чрезвычайно жесткие природные условия Якутии, уникальный климат с температурными перепадами более 100 °С, продолжительность холодного зимнего периода более 8 месяцев (до -65 °С) создают уникальную платформу для длительного непрерывного проведения испытаний в естественных природных условиях среды, что позволяет рассматривать Республику Саха (Якутия) как наиболее эффективную территорию для создания «Центра испытаний» мирового уровня.

Климатические условия Якутии отличаются значительной межсезонной и пространственной контрастностью. Причина – большие размеры территории,

¹ Председатель Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН», член-корреспондент РАН

положение в пределах огромного Евразийского материка в отдаленности от мировых океанов. Климат в Республике Саха (Якутия) резко континентальный. Продолжительность дня летом почти 21 час, а в декабре не больше 3 ч. Здесь наблюдаются самые большие для Евразии колебания температуры воздуха в год – свыше 100 градусов - зимой от $-67,7^{\circ}\text{C}$ и до $+30^{\circ}\text{C}$ летом. По неофициальным данным в Оймяконе температура воздуха зимой 1938 года опустилась до $-77,8^{\circ}\text{C}$, а в 1916 году до -82°C .

Следует отметить, относительное сходство климатических условий в Якутии и наиболее благоприятных «теплых» регионов Марса. В настоящее время Марс – наиболее интересная для изучения планета Солнечной системы. Поскольку Марс обладает атмосферой, хотя и очень разреженной, по сравнению с земной. Климат Марса малоблагоприятен для земной жизни, однако наиболее близок к нашей планете.

Марс и Земля – каких-то моментах очень похожи, но в других резко отличаются друг от друга. Поскольку Марс уступает Земле размерами, считается, что он остывает быстрее и большая удаленность от Солнца меньше прогревает планету днем. Средняя температура на Марсе значительно ниже, чем на Земле, – около -40°C . На Марсе существуют температурные оазисы, в районах «озера» Феникс (плато Солнца) и земли Ноя перепад температур составляет от -53°C до $+22^{\circ}\text{C}$ летом и от -103°C до -43°C зимой. Таким образом, Марс – весьма холодный мир, климат которого наиболее близок к Арктике и Антарктике.

Комплексные испытания материалов, технологических конструкций и устойчивости живых систем в экстремальных условиях Арктики и Субарктики Северо-Востока России могут, несомненно, быть широко востребованы как отечественными, так и зарубежными партнерами.

Вопрос о необходимости и целесообразности создания международного испытательного центра в зоне холодного климата впервые был поднят Председателем Президиума Якутского филиала Сибирского отделения Академии наук СССР академиком Николаем Васильевичем Черским. В 1984 году Николай Васильевич обратился к Председателю Совета Министров СССР Тихонову Николаю Александровичу с просьбой рассмотреть вопрос о создании в одном из пунктов Крайнего Севера СССР международного научно-исследовательского центра по испытанию материалов, узлов и агрегатов импортной техники, предназначенной или предполагаемой для покупки и эксплуатации в районах Севера и Арктики СССР. В 1987 году Постановлением Сибирского отделения АН СССР в составе Института физико-технических проблем Севера Сибирского отделения был организован научно-исследовательский центр «Север». Первым организатором и руководителем Центра был доктор технических наук Черский Игорь Николаевич, а научным руководителем направления член-корреспондент РАН Юрий Степанович Уржумцев. Поставленные основные задачи перед научным коллективом были выполнены в полном объеме.

В настоящее время, очень остро стоит вопрос о проведении дальнейших крупномасштабных испытаний материалов, техники и конструкций для работы в экстремальных климатических условиях с учетом современных глобальных вызовов. Для решения данного вопроса необходимо создание Международного центра по испытанию материалов, элементов техники и живых систем на Полюсе холода.

Основной целью проекта является создание Центра мирового уровня по испытаниям материалов, машин и конструкций, в том числе полимерных и геоматериалов, а также медико-биологических исследований с использованием температурных особенностей Якутии, и учетом наработок в данных областях Институтов Сибирского отделения РАН. Основные испытательные площадки Центра

предполагается разместить в г. Якутске, п. Тикси, Оймяконском улусе Республики Саха (Якутия)

Международный центр будет иметь четыре научных направления.

I. Испытания материалов, техники и конструкций,

Основные задачи:

- испытание конструкционных и авиационных материалов на прочность и долговечность;
- натурные испытания и экспонирование узлов, деталей, машин и конструкций;
- натурные теплофизические испытания строительных и специальных материалов;
- испытания роботов и роботизированных машин в натуральных условиях;
- натурные и стендовые испытания материалов, оборудования, машин, дорожно-строительных материалов и технологий;
- проектирование и отработка технологий изготовления из композиционных материалов с учетом влияния эксплуатационно-климатических воздействий.

II. Испытания полимерных и композиционных материалов и резинотехнических изделий для определения работоспособности материалов, оценки долговечности и остаточного ресурса материалов и изделий при продолжительном воздействии экстремальных климатических факторов.

Основные задачи:

- климатические испытания полимерных и эластомерных материалов;
- климатические испытания резинотехнических изделий для машиностроения;
- масел и смазок технического назначения;
- разработка рецептур, лабораторные и опытно-промышленные испытания и внедрение наномодифицированных морозостойких (до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) композиционных материалов.

III. Исследования свойств, структуры, минералогического и фазового состава геоматериалов, в т.ч. многолетнемерзлых горных пород для обеспечения мирового уровня научных исследований и разработок в области создания эффективных, экологически безопасных геотехнологий, методов и средств комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны.

Основными задачами являются:

- выполнение полного комплекса исследований геоматериалов;
- разработка методик и ГОСТов для исследования многолетнемерзлых горных пород;
- создание опытно-экспериментального полигона для исследования технологических свойств минералов и испытания новых, эффективных технологических решений по переработке и обогащению руд и песков месторождений Северо-Востока России;
- создание базы данных о свойствах, структуре, составе многолетнемерзлых горных пород.

IV. Исследования механизмов адаптации и устойчивости живых организмов на основе изучения физиолого-биохимических, нейронных и психофизиологических механизмов адаптации человека к экстремальным условиям среды, на примере Полюса холода, разработать биогенные методы повышения адаптивного потенциала организма человека, его умственной и физической работоспособности в экстремальных условиях природной и социальной среды.

Основными задачами являются:

- исследование физиолого-биохимических, нейронных и психофизиологических механизмов адаптации человека;

- изучение геномных, протеомных, метаболомных и регуляторных особенностей функционирования сердечно-сосудистой системы организма человека;
- оценка уровня социального джетлага человека и его связи с когнитивными функциями;
- создание биопрепаратов адаптогенного, хронотропного, иммуномодуляторного, детоксикационного, акто- и радиопротекторного действия;
- определение резервов адаптации и уровень функционирования организма человека до и после коррекции с использованием сбалансированного комплекса биологически активных веществ из северного растительного и животного сырья;
- разработка системы профилактики дезадаптационных состояний и десинхронизации организма человека в экстремальных условиях среды (на примере Полюса холода), повышения адаптационных резервов и работоспособности, а также качества жизни и оптимального функционального состояния организма человека.

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН имеет большой опыт исследований в области проблем прочности и разрушения металлов, энергоснабжения и эффективных энерготехнологий, проблем теплообмена, теплофизических свойств веществ в экстремальных природно-климатических условиях Арктики. В институте работает «Станция низкотемпературных натуральных испытаний» инициатором организации которой был академик Владимир Петрович Ларионов. Коллектив станции проводит климатические испытания машин, сосудов давления и труб, исследования разрушений крупногабаритных металлоконструкций. В результате этих испытаний были сформулированы требования по хладостойкости и вязкости разрушения для материалов магистральных трубопроводов Севера в виде ГОСТов и СНИПов. По данным требованиям построен самый северный газопровод Кысыл-Сыр-Якутск, который эксплуатируется до сих пор. В рамках программы «Техника Севера» были созданы новые хладостойкие стали.

Институт проблем нефти и газа СО РАН впервые в мировой практике провел систематическое изучение климатической устойчивости и собрана обширная фактическая информация о поведении различных классов полимерных материалов в арктических условиях. Работниками института определены основные физико-химические процессы старения полимерных композиционных материалов. Результаты исследований широко используются как справочные данные и служат основой для создания банков данных, государственных и отраслевых стандартов и рекомендаций по оценке стойкости, прогнозированию сроков сохраняемости и применению материалов и конструкций в технике Севера.

Институт горного дела Севера им Н.В. Черского СО РАН по третьему направлению имеет большой опыт и научный задел. Коллективом института, впервые, установлены основные закономерности морозного выветривания кимберлита и карбонатных пород алмазных месторождений Якутии, позволяющие прогнозировать сохранность и устойчивость горных выработок криолитозоны при воздействии циклов замораживания-оттаивания. Экспериментальными исследованиями установлено, что в диапазоне температур фазовых переходов поровых растворов (замерзание) прочность вмещающих карбонатных пород и кимберлита существенно снижается. В институте развивается перспективное направление по применению метода георадиолокации для исследования свойств и структуры массива многолетнемерзлых пород.

В Институте биологических проблем криолитозоны СО РАН разработаны биотехнологии получения комплексов биоактивных веществ из природного Арктического возобновляемого биосырья. Получены 26 патентов РФ и 4 комплекта разрешительных документов на производство и реализацию пантовых и ягельных биопрепаратов в странах ЕВРАЗЭС, а «Эпсорина» - и в странах Евросоюза. Созданы

опытно-экспериментальные биоцеха и налажен выпуск небольших партий соответствующей продукции медицинского, пищевого и косметологического направлений. Созданы условия для длительного хранения генофонда агробиоразнообразия, природных популяций редких и исчезающих видов растений без ухудшения их физиологических и генетических качеств, в многолетнемерзлых грунтах Центральной Якутии, отличающихся экономичностью и высокой энергоэффективностью, защищенностью от глобальных и локальных природных и техногенных катастроф.

Масштабное освоение Арктики и Арктического шельфа невозможно без обеспечения комфортных условий жизни, позволяющих длительное время поддерживать здоровье и работоспособность работников на хорошем уровне, тем более эта задача становится первостепенной при планировании длительных экспедиций на Марсе.

Следует отметить, что освоение Марса требует решения множества задач: политических, международно-правовых, научных, экономических, технологических, социологических и гуманитарных. Создание испытательного центра для разработки технологий длительного проживания в экстремальных условиях должно быть первым этапом программы по освоению Марса и начала в обозримой перспективе процессов терраобразования с целью подготовки планеты к жизни людей на постоянной основе. Теоретические оценки позволяют считать, что за 150-200 лет с такой задачей можно будет справиться. Ведущие страны с развитыми космическими технологиями: РФ, КНР, США, страны Евросоюза и Япония могут стать участниками этого грандиозного международного проекта.

Для реализации проекта Международного центра по испытанию материалов, элементов техники и живых систем на Полюсе холода предлагается план, включающий в себя создание необходимой инфраструктуры, строительство полигонов и объектов, приобретение испытательного оборудования по всем направлениям, создание крупногабаритных испытательных стендов и рельсовых машин для проведения натуральных статических, динамических и климатических испытаний.

В Институте биофизики СО РАН предложили включить в рамках создания Международного центра проект Арктического эколого-энергетического автономного жилья под руководством академика РАН А.Г. Дегерменджи. Оборудование и технологии, разработанные для космических систем жизнеобеспечения, могут быть использованы для создания экологического жилья Арктики с одной стороны, а испытанные материалы и технологии на Полюсе холода могут быть применены в космических программах с другой стороны.

В результате создания Международного центра по испытанию материалов, элементов техники и живых систем на Полюсе холода будет получен мультипликативный эффект в различных областях машиностроения, материаловедения, авиационной и космической отраслях, в биологии и медицине. Расширится возможность приобретения новых знаний по фундаментальным вопросам физики прочности материалов, химии и структуры новых высокопрочных материалов, процессов управления роботизированными системами, создания эффективных геотехнологий, методов и средств комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны, биофизике и медицине живых организмов в условиях низких температур.

Международный центр станет полигоном для испытаний многих ведущих мировых авиа-авто-судо-машиностроительных, корпораций и компаний по многим направлениям.

Полученные результаты по испытаниям материалов, техники, геоматериалов, роботизированных систем и исследования влияния низких температур на жизнедеятельность человека могут явиться базовыми знаниями для долгосрочной и стратегической программы полета и освоения человека на планете Марс.

Результаты исследований и разработок будут востребованы предприятиями реального сектора экономики России, университетами и академическими институтами, а также мировыми научными институтами, промышленными предприятиями и космической отраслью по различным направлениям исследований.

А.М. Караськов¹

Развитие современных биомедицинских технологий в СО РАН до 2024 года

Биомедицинская наука в Сибирском федеральном округе занимается широким спектром научной проблематики. Коллеги в восточных регионах Сибири вносят большой вклад в развитие педиатрической науки, в частности, педиатрический центр в Иркутске. Он разрабатывает многие тематики, связанные с психосоматическим здоровьем детей, с улучшением возможностей детородных функций. Очень много сегодня наработок в Томском научном центре, где организован исследовательский национальный центр. Весь размах, которым сегодня обладает медицинская наука в Сибирском федеральном округе колоссален.

Однако, на сегодняшний день, в России всего 22 национальных исследовательских Центра. В основном это Санкт-Петербург, Москва. В Зауралье есть всего один Национальный медицинский исследовательский центр, утвержденный президентской программой (Новосибирский национальный исследовательский медицинский центр им. академика Е.Н. Мешалкина). В зону его компетенций входит 21 регион Сибири и Дальнего Востока. Сегодня стоит акцент на образовательные модули. Речь идет о подготовке специалистов не только по кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии, но и онкологии, нейрохирургии. У нас уже создано 15 модулей по этим специальностям. На следующий год запланировано до 30 модулей. И, естественно, это будет главным центром компетенции до 2024 года.

Хотелось бы остановиться на уже созданном центре новых технологий НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина. Этот центр компетенций, о котором неоднократно докладывалось на различных форумах. Он был создан еще в 2009 году, куда вошли все ведущие биомедицинские и биотехнологические центры СО РАН. Они выполняют девять государственных заданий Минздрава России (рис. 1).

Кроме этого, совместно с Институтом теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН ведется разработка отечественного искусственного сердца. Недавно выполнены первые эксперименты на животных с очень хорошими, обнадеживающими результатами. Возможности нового разработанного искусственного сердца уникальны. Европейские аналоги сегодня не устраивают в связи с очень высоким риском тромбоэмболических осложнений, гемолиза, травм элементов крови, неудовлетворительных габаритов, несовершенства способа

¹ Директор Национального медицинского исследовательского центра имени академика Е.Н. Мешалкина Минздрава России, академик РАН

электропитания устройства. Разработанная модель рассчитана на работу от 20 лет и больше (рис. 2). При решении этой проблемы мы можем уйти от проблемы нехватки донорских сердец.

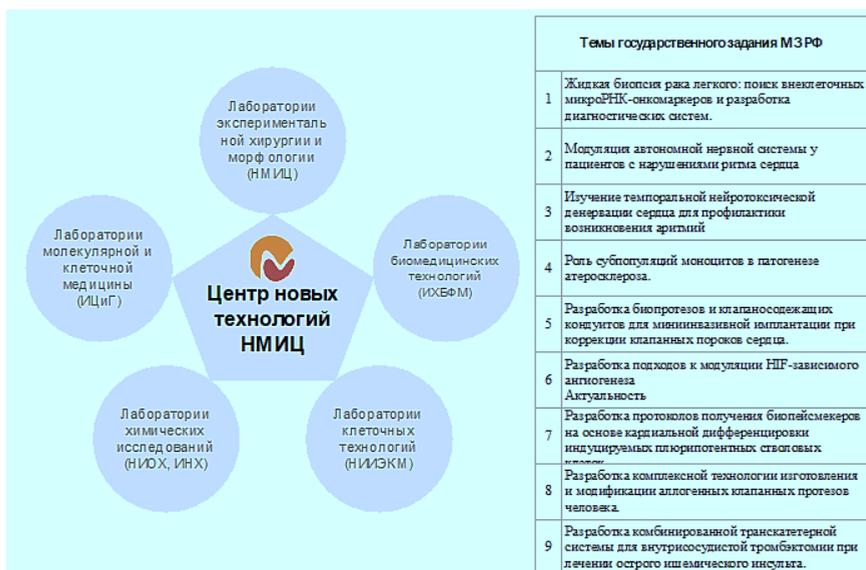


Рис. 1. Центр коллективного пользования НМИЦ - СО РАН



Рис. 2. Насос для механической поддержки сердца

С московскими коллегами ведутся разработки, связанные с искусственным интеллектом в традиционной хирургии. На рис. 3 представлено то, что сегодня реально есть в клиниках России: обработка изображения в хирургии, замена рентген-изображения на цифровую 3Д-модель высокого качества. Наши партнеры в этом направлении – компании Navicon (г. Москва) и Экспасофт (г. Новосибирск).

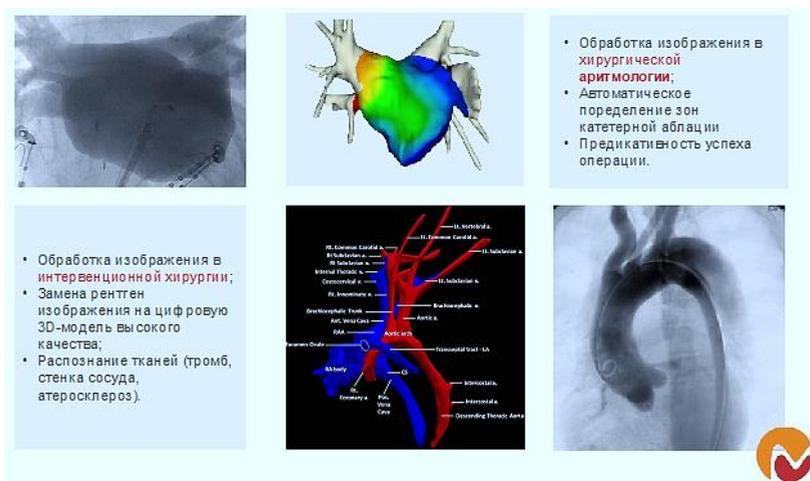


Рис. 3. Искусственный интеллект в интервенционной хирургии

В РФ фибрилляцией предсердий страдает около 2,5 млн человек. Нами впервые был представлен вариант использования ботулотоксина при таком выраженном нарушении ритма, как фибрилляция предсердий. Созданный совместно с Новосибирским институтом органической химии ботулотоксин, сегодня внедряется на базе научно-производственного предприятия «Микроген», который должен запустить всю линейку этих препаратов для аритмологии (рис. 4).

Число пациентов	Общее число случаев фибрилляции предсердий (ФП) в России - около 2,5 млн человек.		
Суммарные затраты на ФП	В РФ могут быть оценены в 102,92 млрд. руб. в год, включая: • расходы на госпитализацию (53,77 млрд. руб.), • амбулаторное лечение и диагностику (21,4 млрд. руб.), • лекарственное обеспечение амбулаторного лечения (16,9 млрд. руб.) • косвенные затраты (10,85 млрд. руб.)		
Цена альтернативных методов лечения ФП	Интервенционная катетерная абляция ФП Катетер электрофизиологический NaviStar ThermoCool – 180000 руб/шт Медикаментозная терапия ФП Кордарон – 270 руб/ 30 шт (2-3 таблетки в день) Прадакса – 1700 руб/ 30 шт (1 таблетка в день)		
			
Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина	Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова	АО «Научно-производственное объединение «Микроген»	Bosti Trading Ltd. Cyprus

Рис. 4. Препарат для лечения нарушений ритма сердца на основе ботулотоксина

Мы уже приступили к клиническим исследованиям транскатетерного аортального клапана. На сегодняшний день потребность в России – 40 000 штук в год. Возможности наших клапанов по сравнению с импортными дают уменьшение стоимости в три раза, при этом клапан будет по ряду показателей лучше, чем мировые

аналоги. Разработанные нами стентграфты с середины следующего года уже поступят в производственную серию.

Венозный имплант кава-фильтр, необходим сосудистым хирургам для лечения острых эмболий легочной артерии. Потребность рынка – больше 40 тыс. шт. в год. На рис. 5 представлен сердечный имплант, который мы первыми в стране начали использовать. Мы уже вышли на производство и с середины следующего года компания «Ангиолайн» эту технологию будет запускать в производственную серию.

<p>СИСТЕМА-РЕТРИВЕР ДЛЯ ТРОМБЭКСТРАКЦИИ</p>  <p>Заканчиваются доклинические испытания на животных</p> <p>Цена импортного аналога 700 тыс. руб. Цена Ангиолайн 200-300 тыс. руб.</p> <p>Потребность рынка 40 000 штук в год. Степень обеспечения потребности сегодня <0,5%.</p> <p>ИНСУЛЬТ ЯВЛЯЕТСЯ ВТОРОЙ ПРИЧИНОЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СМЕРТИ ПОСЛЕ ИНФАРКТА МИОКАРДА</p> <p>НЕТ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АНАЛОГОВ</p>	<p>ВЕНОЗНЫЙ ИМПЛАНТАТ КАВА-ФИЛЬТР</p>  <p>Подготовка документов на регистрацию в Росздравнадзор</p> <p>Потребность рынка 30 – 40 тысяч штук в год Текущие имплантации 10% от потребности рынка</p> <p>ЭТО ЯВЛЯЕТСЯ ТРЕТЬЕЙ ПРИЧИНОЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СМЕРТИ ПОСЛЕ ИНФАРКТА МИОКАРДА И ИНСУЛЬТА</p>	<p>СЕРДЕЧНЫЙ ИМПЛАНТАТ ОККЛЮДЕР УШКА ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ</p>  <p>В июле 2017 года получено регистрационное удостоверение. Запланированы первые имплантации человеку.</p> <p>Цена импортного аналога 1 млн руб. Цена Ангиолайн 0,2 млн руб. Потребность рынка 25 000 штук в год</p> <p>НЕТ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АНАЛОГОВ</p>
--	--	--

Рис. 5. Совместные разработки с компанией Ангиолайн II.

К сожалению, есть серьезная проблема: в стране нет ни одного специализированного по нашему профилю центра доклинических испытаний. В этом центре есть острая необходимость и мы это закладывали в структуру «Академгородок 2.0» (рис. 6). Без такого центра нам сегодня не выйти на мировой рынок.



Рис. 6. Корпус доклинических исследований

Также планируется возведение лечебного корпуса, который соединен непосредственно с детским корпусом и основным центром (рис. 7).



Рис. 7. Федеральная адресная инвестиционная программа развития НМИЦ 2019-2023 гг.

Согласно рекомендациям специалистов ВОЗ: на каждые 5 млн. жителей необходим один протонный ускоритель. По данным Минздрава, в России протонно-лучевая терапия необходима до 8 % онкологических больных, среди детей эта цифра достигает 90 %. Недавно, ректор НГУ, губернатор, директор компании Швабе, Минздрав России подписали соглашение, что в Новосибирске будет развернут центр протонных технологий и ядерной медицины.

Эффект от создания сети протонных центров – внедрение единых стандартов лечения, реализация комплексных межвузовских образовательных программ, разработка производственного оборудования, снижение капитальных затрат на создание центров и снижение тарифов на оказание медицинских услуг.

В заключение необходимо отметить, что только эффективная реализация всех вышеперечисленных мероприятий может помочь достичь основной цели перехода к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения как одному из основных приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации.

О.И. Лаерик¹

Репарация ДНК на страже стабильности генома и здоровья человека

Хранилищем генетической информации в клетке является ДНК, и сохранение целостности структуры ДНК определяет стабильность клеточного генома. В тоже время известно, что ДНК достаточно легко повреждается под действием различных факторов, наиболее распространенным из которых является оксидативный стресс.

¹ Заведующая лабораторией, главный научный сотрудник Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, член-корреспондент РАН

Кроме того, УФ-излучение, разнообразные агенты окружающей среды, ионизирующая радиация также вносят повреждения в структуру ДНК. Число повреждений ДНК достигает 1 млн на клетку в сутки, то есть уровень повреждений этой структуры высокий. В связи с этим исследование процессов, направленных на сохранение целостности ДНК у человека, важнейшими из которых являются механизмы репарации, имеют первоочередное значение для сохранения здоровья и активного долголетия населения страны, в особенности регионов с неблагоприятными экологическими условиями, к числу которых относятся некоторые регионы Сибири. Таким образом, проводимые нами исследования актуальны для социально-экономического развития регионов Сибири и отвечают приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642.

Основные ДНК-повреждающие агенты, возникающие в результате их действия повреждения, а также механизмы репарации, исправляющие эти повреждения, представлены на рис. 1.

Оксидативный стресс, сопряженный с образованием активных форм кислорода, приводит к модификации оснований ДНК, а именно их окислению, дезаминированию и другим превращениям, а также к возникновению одноцепочных разрывов сахарофосфатного остова ДНК. В тоже время существует очень эффективный механизм – эксцизионная репарация оснований (BER), который устраняет эти повреждения. УФ-Излучение и мутагенные компоненты окружающей среды, в том числе содержащиеся в сигаретном дыме и в продуктах неполного сгорания топлива, вводят в ДНК объемные повреждения, и эти объемные ароматические аддукты успешно устраняются системой эксцизионной репарации нуклеотидов (NER). Ионизирующая радиация, когда она достаточно интенсивна, создает в ДНК двухнитевые разрывы, но существуют механизмы репарации двойных разрывов – гомологичная рекомбинация ДНК и нехомологичное соединение концов, так что даже эти трудноудаляемые повреждения могут быть устранены.

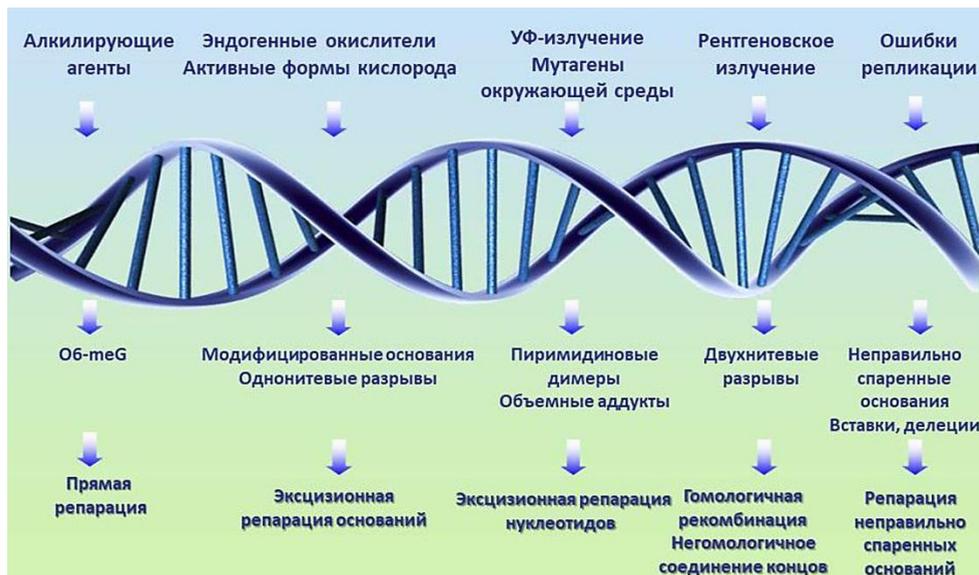


Рис. 1. Повреждения ДНК и пути их репарации

Интересно, что система репликации, которая при делении клетки воспроизводит информацию, закодированную в ДНК, не является абсолютно точной, и во время репликации в синтезируемой ДНК возникают ошибки. Тем не менее, есть механизм репарации неправильно спаренных оснований, и эти повреждения удаляются из ДНК. Таким образом, все системы репарации работают достаточно эффективно, и любое повреждение в ДНК будет удалено. Но если есть какие-либо дефекты, например, мутации генов, кодирующих белки репарации ДНК, то в этом случае возникают различные патологии, и лидером, конечно, является онкология. Системы репарации также начинают работать менее эффективно при старении, таким образом, старение определяется, в том числе, снижением интенсивности и точности работы систем репарации.

Системы репарации обычно функционируют в виде ансамблей ферментов и сопутствующих белковых факторов. Ферменты выполняют основную каталитическую функцию в процессах репарации. Кроме того, в репарации ДНК участвуют дополнительные ферменты и белковые факторы, которые регулируют работу основных ферментов.

Следует остановиться на одном из ключевых белков, который регулирует репарацию ДНК в клетках высших эукариот, в том числе человека. У бактерий и низших эукариот такой формы регуляции не существует. Это уникальный механизм регуляции репарации ДНК, присущий только высшим организмам, то есть механизм возник на высшей ступени эволюции. Этот регуляторный фермент называется поли(АДФ-рибоза)полимераза 1 (PARP1). Он был открыт довольно давно, но интерес к исследованию механизма катализируемой им реакции и ее роли в жизни высших организмов только нарастает, в том числе с развитием биомедицины и новых методов лечения заболеваний человека. PARP1 очень важен для работы ключевых систем организма человека и для выживания клетки. PARP1 катализирует очень важную для клетки реакцию: синтез поли(АДФ-рибозы) (PAR) – «третьей нуклеиновой кислоты», полимера, состоящего из мономеров АДФ-рибозы. Субстратом для синтеза отрицательно заряженного разветвленного полимера поли(АДФ-рибозы) является никотинамидаденин-динуклеотид (НАД⁺) (рис. 2).

Реакция синтеза активируется в случае повреждения ДНК. НАД⁺ – ключевая молекула в клеточном метаболизме. Ее концентрация определяет энергетический баланс клетки. Клеточные уровни НАД⁺ и АТФ находятся во взаимосвязи и равновесии, и расход НАД⁺ при синтезе PAR приводит к истощению энергии. Почему синтез PAR важен для репарации ДНК и как этот полимер регулирует процессы репарации? Этот вопрос волнует исследователей последние десятилетия. После возникновения разрывов в ДНК под действием повреждающих агентов PARP1 активируется на разрывах и начинает синтезировать PAR. Этот полимер присоединяется ковалентно к самому катализатору, белку PARP1, в результате чего PARP1 приобретает дополнительный отрицательный заряд и может диссоциировать из комплекса с ДНК, то есть уходить с повреждения для того, чтобы начался процесс его репарации. Эта гипотеза была существенно дополнена последними исследованиями, которые показали, что PAR взаимодействует с другими белками репарации, вовлекая их в процесс репарации ДНК, то есть PARP1 и PAR могут играть активную роль в этом процессе. Реакция синтеза PAR обратима: полимер подвергается расщеплению с помощью фермента поли(АДФ-рибоза)гликогидролазы (PARG), что обеспечивает регуляцию уровня PAR в клетке (рис. 2) [1, 2].

Центральная роль реакции поли(АДФ-рибозил)ирования, катализируемого PARP1, во многих клеточных процессах у высших организмов привлекает к его исследованию внимание многих ведущих лабораторий мира, то есть в этой области очень высокая

конкуренция. По определенному стечению обстоятельств мы оказались центром исследований этого процесса в России. Структура этого белка исследуется с помощью метода рентгеноструктурного анализа. К настоящему времени установлено, что PARP1 – член большого семейства белков (17 членов семейства), которые тоже узнают НАД⁺, но синтез полимера PAR в ответ на повреждение ДНК могут осуществлять в основном PARP1 и PARP2, причем большая часть синтезируемого в клетке PAR приходится на долю PARP1. Еще один белок этого семейства, PARP3, способен катализировать реакцию моно(АДФ-рибозил)ирования белков. PARP1 взаимодействует со множеством белков, участвующих в различных путях репарации, что позволяет его рассматривать в качестве универсального регулятора различных механизмов репарации ДНК.

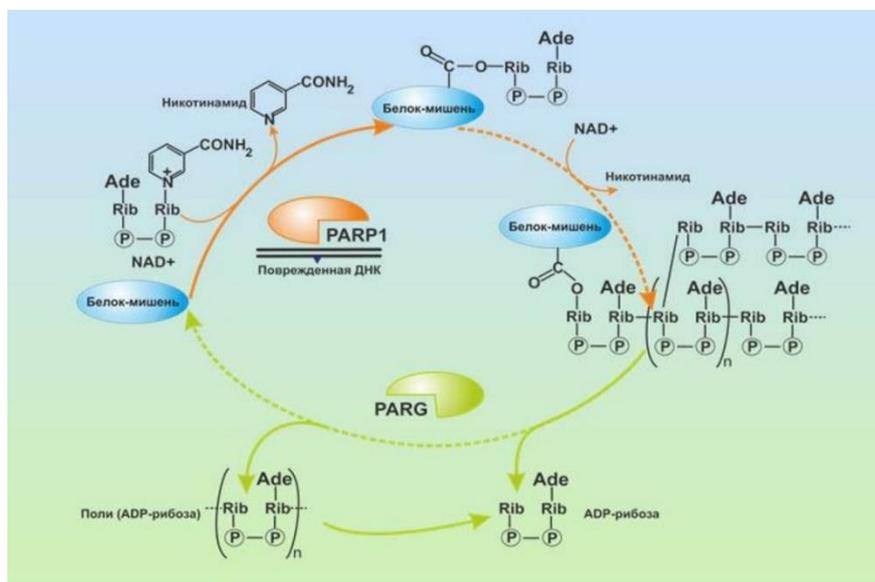


Рис. 2. Синтез разветвленного полимера поли(АДФ-рибозы), катализируемый PARP1 с использованием НАД⁺ в качестве субстрата при повреждениях ДНК.

Реакция обратима и поли(АДФ-рибоза) гидролизуется с помощью фермента поли(АДФ-рибоза)гликогидролазы (PARG). Поли(АДФ-рибоза) присоединяется ковалентно к PARP1, а также к другим белкам, регулируя их взаимодействие с отрицательно заряженной ДНК

В первую очередь рассмотрим взаимодействие PARP1 с белками системы BER, ответственной за удаление повреждений, возникающих в результате оксидативного стресса. Согласно классической гипотезе, предполагалось, что поврежденная ДНК передается как эстафетная палочка от одного белка к другому, вплоть до исправления этого повреждения [1]. Мы предположили, что для «быстрого реагирования» на повреждения ДНК белки, которые участвуют в процессе BER, должны преобразовывать белок-белковые комплексы независимо от поврежденной ДНК. Для доказательства такой гипотезы были использованы методы физико-химического анализа белок-белковых взаимодействий и количественной оценки параметров стабильности комплексов с использованием белков BER, содержащих флуоресцентные метки [3]. С помощью методов флуоресцентного титрования и резонансного переноса энергии, FRET, была проведена оценка эффективности белок-белковых взаимодействий в этом комплексе репарации. Были определены параметры,

определяющие стабильность белковых комплексов, в отсутствие поврежденной ДНК и в присутствии ДНК-интермедиатов разных стадий процесса BER. Полученные значения параметров указывают на довольно прочные белок-белковые взаимодействия даже в отсутствие ДНК (рис. 3). Таким образом, в результате масштабного исследования удалось установить, что белки BER могут формировать комплекс – «репарасому» – в отсутствие поврежденной ДНК. Можно предположить, что такой комплекс формируется в ядре, в структуре хроматина, и может играть ключевую роль в сборке репарационных структур и последующей репарации поврежденной ДНК. Важную роль в этом комплексе может играть PARP1.

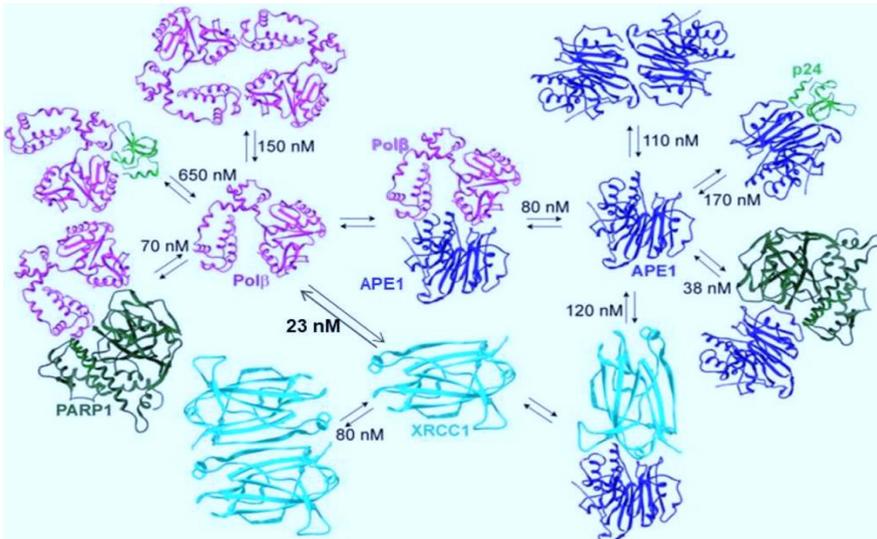


Рис. 3. Белок-белковые взаимодействия в «репарасоме» BER.

Представлены 3D-структуры белков «репарасомы» и количественные характеристики их взаимодействий по данным флуоресцентного титрования, резонансного переноса энергии и динамического светорассеяния [3, 4]

Другой системой репарации ДНК является нуклеотидная репарация, NER, которая ответственна за удаление объемных повреждений в ДНК. Это не только повреждения, которые возникают при УФ-облучении, но также повреждения, которые целенаправленно вводятся в ДНК при химиотерапии. Поэтому эффективная работа этой системы снижает действие химиотерапевтических ДНК-повреждающих препаратов. Исправление повреждений системой NER – сложный многостадийный процесс, протекающий с образованием множества промежуточных комплексов, сборка и функционирование которых осуществляются за счет ДНК-белковых и белок-белковых взаимодействий, требующих четкой координации и регуляции. В результате последовательной работы белковых комплексов происходит вырезание из ДНК фрагмента длиной около 30 нуклеотидов, содержащего повреждение. Одним из возможных механизмов регуляции процесса NER может быть поли(АДФ-рибозил)ирование белков этой системы. Мы исследовали влияние поли(АДФ-рибозы) на этот процесс, и удалось показать, что присоединение отрицательно заряженного полимера к белкам этого комплекса очень важно на двух стадиях: на стадии узнавания объемного повреждения белком ХРС и на стадии выщепления фрагмента, содержащего повреждение [5,6].

Еще одно наблюдение, сделанное нами в последние годы, расширило представление о природе акцепторов PAR в клетке. С момента открытия белков PARP и процесса поли(АДФ-рибозил)ирования, когда было показано, что PAR присоединяется в основном к белку PARP, а также к белкам репарации, считалось, что вообще только белки являются основными мишенями поли(АДФ-рибозил)ирования в клетке. Этот процесс был исследован нами более подробно, и оказалось, что акцептором поли(АДФ-рибозы) могут быть не только белки, но и ДНК. Это может наблюдаться при появлении в ДНК нескольких близко расположенных разрывов. В этом случае PARP1 или PARP2 связывается с одним из них, и синтезируемая поли(АДФ-рибоза) присоединяется к 5'-фосфатным группам ДНК, расположенным в месте ближайшего разрыва [7-9]. Это важное наблюдение, выявившее новый процесс, который может происходить в хроматине при множественных повреждениях ДНК.

Следующее наше достижение в исследовании функционирования белков PARP в репарации ДНК, опубликованное сравнительно недавно, также связано с исследованием системы поли(АДФ-рибозил)ирования [10, 11]. Мы впервые применили метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) для того, чтобы посмотреть на уровне единичных молекул, как белки семейства PARP взаимодействуют с повреждением в ДНК. Этот метод сейчас применяется довольно широко и позволяет визуализировать взаимодействие белков с повреждением. Был использован протяженный ДНК-дуплекс (1200 пар оснований), содержащий разрыв в одной из цепей. Этот дуплекс виден на картинке, полученной с помощью атомно-силового микроскопа (рис. 4). Белок PARP1, который взаимодействует как с концами дуплекса, моделирующими двойной разрыв, так и с разрывом внутри цепи, и PARP2, взаимодействующий с этим разрывом, также наблюдаются в этом эксперименте (рис. 4 А, белые точки). Данные получены как в отсутствие реакции синтеза PAR, так и при добавлении НАД⁺, то есть в условиях синтеза полимера. В этом случае удалось увидеть появление молекул полимера, причем отчетливо видно, что это действительно разветвленный полимер, имеющий форму «звезды» (рис. 4 Б). Таким образом, метод АСМ позволил впервые наблюдать взаимодействие белков PARP с ДНК и формирование полимера АДФ-рибозы на уровне одной молекулы. Были исследованы детали этого процесса и количественные характеристики взаимодействия.

Следующий этап наших недавних исследований был посвящен роли в репарации ДНК РНК-связывающих белков. Это очень горячая точка в понимании механизмов репарации. Действительно, в последнее время стало известно, что не только ДНК-связывающие белки, но и РНК-связывающие белки, а также сама РНК важны для эффективной работы систем репарации ДНК. Следует заметить, что поли(АДФ-рибоза) в какой-то степени моделирует рибонуклеиновую кислоту, и поэтому можно было ожидать ее взаимодействия с РНК-связывающими белками. В результате такого взаимодействия эти белки могут привлекаться в комплексы репарации ДНК. Полимер АДФ-рибозы может регулировать взаимодействие с нуклеиновыми кислотами как ДНК-, так и РНК-связывающих белков, а также может регулировать белок-белковые взаимодействия [12]. Кроме того, было предположено, что этот полимер может участвовать в процессе разделения фаз, что может быть весьма важным для организации специфических немембранных компартментов для протекания ключевых клеточных процессов [12, 13]. Таким образом, PAR может регулировать на уровне хроматина репарацию, транскрипцию и многие другие процессы в клетке.

В настоящее время интенсивно исследуется роль РНК-связывающих ядерных белков в процессах репарации. Особое внимание привлекают неструктурированные белки. Один из таких интересных и важных белков – FUS. Этот ядерный белок

вовлечен во многие процессы в клетке. Известно, что мутации в гене, кодирующем этот белок, приводят к возникновению бокового амиотрофического склероза – серьезного нейродегенеративного заболевания. Функции этого белка сейчас интенсивно изучаются. Мы заинтересовались ролью FUS в процессах репарации ДНК.

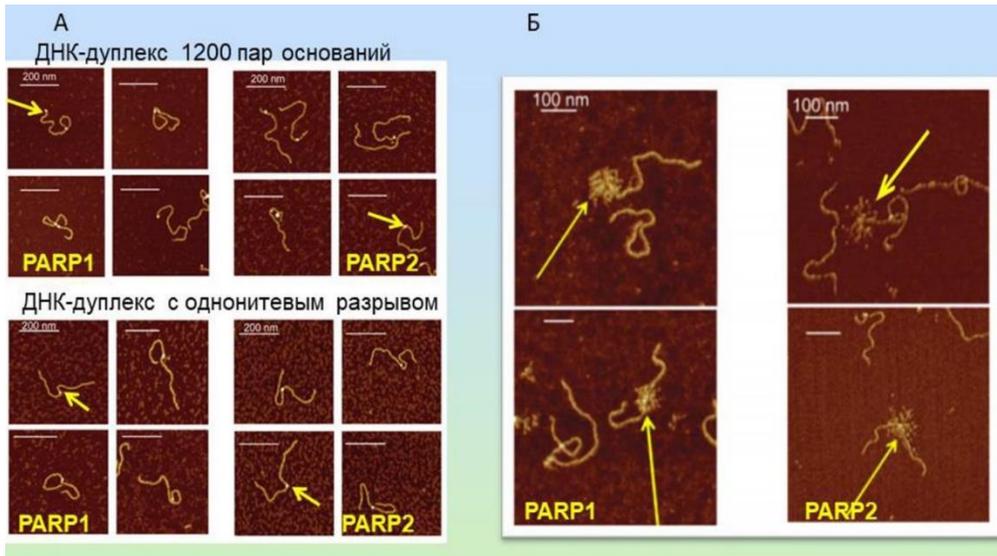


Рис. 4. Визуализация с помощью атомно-силовой микроскопии единичных молекул PARP1 и PARP2, взаимодействующих с разрывами ДНК, в отсутствие реакции синтеза PAR (А) и в условиях синтеза полимера (при добавлении НАД⁺) (Б) [10]

Оказалось, что FUS хорошо связывается с повреждением ДНК, возникающим под действием УФ-облучения клеток, только в присутствии PARP1. Эффективность связывания значительно снижается при делеции гена PARP1. Мы также показали взаимодействие FUS с PAR: при повреждении ДНК FUS связывается с поли(АДФ-рибозой), синтезируемой PARP1 в месте повреждения, в результате чего образуются структуры, которые мы смогли впервые наблюдать с помощью атомно-силовой микроскопии (рис. 5 А).

Последующий анализ показал, что в этих структурах – компартментах, образованных при взаимодействии поли(АДФ-рибозы) с неструктурированным белком FUS, в основном локализуется поврежденная ДНК. Структуры компартментов исчезают, если гидролизовать PAR с помощью PAR-гидролизующего фермента PARG (рис. 5 Б), то есть процесс полностью обратим. Это очень важное наблюдение, проливающее свет на организацию надмолекулярных структур репарации ДНК на уровне хроматина. По-видимому, репарация в хроматине идет именно в таких структурах – компартментах, образующихся на повреждениях ДНК с участием PARP1, PAR, РНК-связывающих белков и белков репарации. За счет формирования таких структур достигается разделение поврежденной ДНК от массива неповрежденной и концентрирование белков репарации на повреждении, что является необходимым для его эффективного удаления в нужном месте и в нужное время (рис. 5В) [14].

Вторая часть моего доклада посвящена нашим инновационным биомедицинским разработкам, направленным на создание новых эффективных лекарств, и пониманию роли систем репарации ДНК в процессах старения организма.

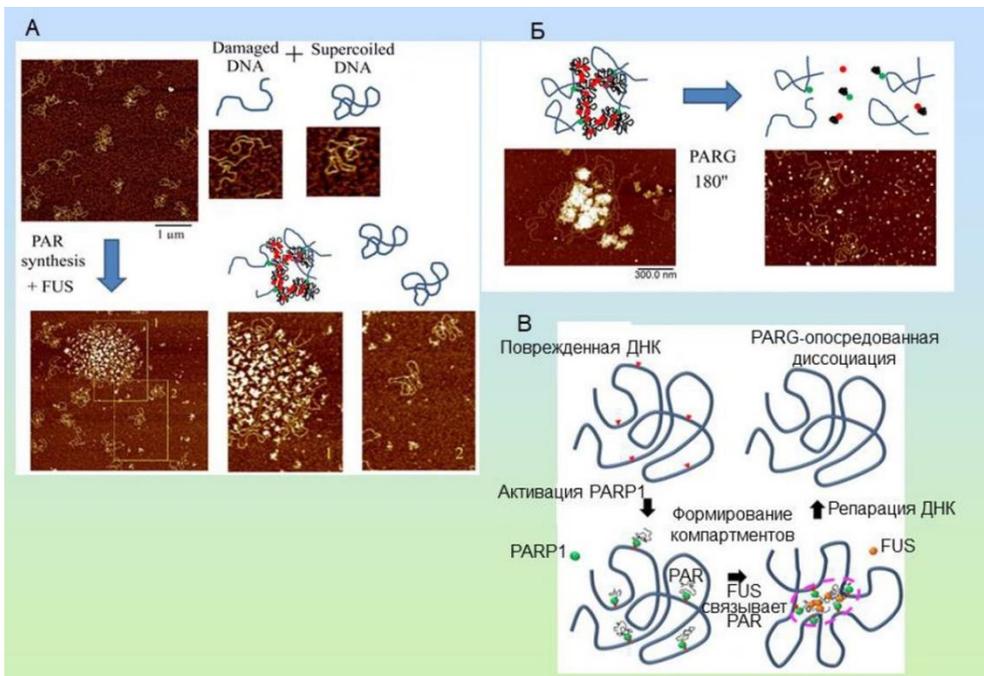


Рис. 5. РНК-связывающий белок FUS связывает поли(ADP-рибозу) в местах повреждений ДНК и образует компартменты (А). Гидролиз поли(ADP-рибозы) приводит к диссоциации этих структур и последующей транслокации FUS в цитоплазму (Б). В компартментах концентрируется поврежденная ДНК, что позволяет ее отделить от массива неповрежденной (В). Локализация FUS в местах повреждения ДНК при активации PARP1 может создавать условия для создания таких структур и концентрирования в них факторов репарации ДНК [14]

Важнейшая роль изучения процессов репарации ДНК определяется тем, что действие используемых в клинике антираковых препаратов и экзогенных факторов, таких как ионизирующая радиация при радиотерапии, разрушают структуру ДНК, но системы репарации интенсивно сопротивляются таким воздействиям, эффективно восстанавливая поврежденную структуру. Это обстоятельство требует увеличивать дозы препаратов и излучения при радиотерапии, что ведет к тяжелым последствиям для организма пациента. Кроме того, есть неприятный парадокс – в раковых клетках (особенно во вторичных метастатических) системы репарации ДНК работают зачастую более эффективно, чем в нормальных. Поэтому понимание механизмов работы ферментов репарации и поиск наиболее универсальных мишеней для блокирования этого процесса очень важно при разработке противораковых препаратов. Одна из главных мишеней, с которой работают многие исследователи в этой области, безусловно, PARP1, поскольку он регулирует различные пути репарации и подавление его активности может сыграть роль «магической пули». Ингибиторы этого фермента олапариб, рукапариб и нирапариб одобрены FDA для лечения рака яичников и молочной железы у женщин. Эти препараты применяется во второй линии терапии и эффективны для тех пациенток, у которых есть определенные мутации в генах белков BRCA1/2, блокирующих процесс репарации. Некоторые из этих

препаратов находятся на стадии исследования для лечения рака желудка, легких и простаты. Лечение с помощью ингибиторов PARP обычно протекает достаточно тяжело и имеет множество побочных эффектов, поэтому нужно искать и другие мишени и разрабатывать новые лекарства для лечения онкологических заболеваний.

В качестве такой перспективной мишени для создания нового поколения антираковых препаратов мы исследуем другой фермент – тирозил-ДНК-фосфодиэстеразу 1 (TDP1). Действие этого фермента приводит к ослаблению действия антираковых ДНК-повреждающих препаратов, которые применяются для лечения рака прямой кишки и легких. В клинике для лечения этих болезней применяются препараты, содержащие ингибиторы топоизомеразы 1 – биодоступные производные камптотецина (топотекан и иринотекан). Эти соединения стабилизируют ковалентные аддукты топоизомеразы 1 на повреждениях ДНК. Было замечено, что эффективность воздействия этих лекарств зависит от уровня активности как топоизомеразы 1, так и TDP1, которая удаляет аддукты топоизомеразы. Для того чтобы усилить действие клинических препаратов, необходимо ингибировать активность TDP1. В настоящее время мы активно разрабатываем ингибиторы этого фермента на основе широкого спектра природных соединений и их аналогов. Проект этот успешно развивается в кооперации с Институтом органической химии им. Воровцова и Институтом цитологии и генетики СО РАН. Проводятся исследования *in vitro* синтезированных соединений, моделирование структур и испытания лучших ингибиторов *in vivo* на животных. Получен ряд патентов. Соединения-лидеры переданы в доклинические испытания. Было установлено, что разработанные препараты демонстрируют положительный эффект при лечении некоторых видов рака: размеры опухоли падают на 30-50%, а рост метастазов ингибируется в пять раз при комбинированном использовании клинического препарата топотекана и разработанного нами ингибитора (рис. 6) [15,16].

• Лечение раковых и нейродегенеративных заболеваний

В клинике используются ингибиторы PARP1 олапариб, рупапариб, нирапариб. Испытания разработанных нами ингибиторов ферментов репарации показали уменьшение на 50% первичной опухоли и на 90% - метастазов

Системы репарации – платформа для создания лекарственных препаратов:

- Долголетие и решение проблемы старения

600 лет

Время жизни (в пересчёте на килограмм организма человек живет 1 год)

- Технология редактирования генома CRISPR/Cas9 – будущее медицины

Рис. 6. Системы репарации ДНК – основа жизни и будущее современной медицины

В последние годы мы инициировали проект, посвященный исследованию процессов репарации ДНК у долгоживущих животных, а именно в клетках голого землекопа. Это просто легендарное животное, у которого средняя продолжительность жизни более 30-ти лет. Это в десять раз более длительная жизнь, чем у мышей, которые живут 2-3 года. В сравнении с человеком с ориентацией на сравнительный вес этих млекопитающих получается, что землекоп живет около 600 лет. У голого землекопа очень много интересных признаков, которые должны привлечь внимание исследователей, занимающихся основами долголетия. С возрастом у него не выявляется изменений, присущих старению, не появляются признаков нейродегенеративных заболеваний и даже сохраняется репродуктивная функция. Кроме того, была выявлена устойчивость этого организма к онкологическим заболеваниям. Нами исследованы процессы репарации ДНК у голого землекопа. Эксперименты на клетках голого землекопа по определению активности систем репарации без воздействий и при УФ-облучении клеток были выполнены впервые в мире. Было установлено, что активность систем репарации оснований и нуклеотидов, а также активность поли(АДФ-рибоза)полимеразы 1 – основного регулятора этих систем, в клетках голого землекопа гораздо выше, чем в клетках мыши [17,18]. На основании этих результатов можно предположить, что именно эффективная репарация ДНК является одним из важнейших факторов долголетия этого организма и его устойчивости к онкологическим заболеваниям.

Таким образом, изучение систем репарации является важнейшим направлением современной молекулярной биологии и биомедицины. Это важно для того, чтобы сопротивляться онко- и нейродегенеративным заболеваниям, понять основы долголетия, разработать новые эффективные методы лечения заболеваний человека и конечно же это важно для покорения космоса. За время полета до Марса космонавты могут получить потенциально опасную дозу космической радиации – свыше 1 зиверта. Возможны ли такие полеты вообще и как создать условия защиты ДНК космонавтов? Многое из приведенного в моем докладе представляет очень большой интерес с точки зрения разработки оптимальных тестов слежения за повреждениями ДНК и их репарацией. Некоторые разработки могут быть адаптированы к повседневной жизни для тестирования здоровья людей, работающих во вредных экстремальных условиях.

Итак, системы репарации ДНК – это основа жизни человека и будущее современной медицины. Новые технологии направленного изменения генома, такие как система CRISPR/Cas9, создают повреждения в ДНК, и их эффективность и точность, безусловно, должны регулироваться системами репарации. Наши исследования очень важны, чтобы победить онко- и нейрогенеративные заболевания, чтобы научиться жить несколько сотен лет, не старея, чтобы осваивать космос. Этому посвящены работы моего коллектива, который развивает энзимологические исследования в Сибирском Отделении РАН со времени создания Института биоорганической химии (ныне Институт химической биологии и фундаментальной медицины) СО РАН, организатором которого был Академик Дмитрий Георгиевич Кнорре.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (гранты 14-24-00038 и 19-14-00107) и Российского фонда фундаментальных исследований.

Литература

1. *Ходырева С.Н., Лаврик О.И.* Поли(АДФ-рибоза)полимераза 1 – ключевой регулятор репарации ДНК // Молекулярная биология. 2016. Т. 50. 4. С. 655–673.
2. *Alemasova E.E., Lavrik O.I.* Poly(ADP-ribosylation) by PARP1: reaction mechanism and regulatory proteins // Nucleic Acids Res. 2019. V. 47. N 8. P. 3811–3827.

3. Moor N.A., Vasil'eva I.A., Anarbayev R.O., Antson A.A., Lavrik O.I. Quantitative characterization of protein-protein complexes involved in base excision DNA repair // *Nucleic Acids Res.* 2015. V. 43. N 12. P. 6009-6022.
4. Vasil'eva I.A., Anarbaev R.O., Moor N.A., Lavrik O.I. Dynamic light scattering study of base excision DNA repair proteins and their complexes // *Biochim. Biophys. Acta Proteins Proteom.* 2019. V. 1867. N 3. P. 297-305.
5. Maltseva E.A., Rechkunova N.I., Sukhanova M.V., Lavrik O.I. Poly(ADP-ribose)polymerase 1 Modulates Interaction of the Nucleotide Excision Repair Factor XPC-RAD23B with DNA via Poly(ADP-ribosylation) // *J. Biol. Chem.* 2015 . V. 290. N 36. P. 21811-21820.
6. Maltseva E.A., Krasikova Y.S., Sukhanova M.V., Rechkunova N.I., Lavrik O.I. Replication protein A as a modulator of the poly(ADP-ribose)polymerase 1 activity // *DNA Repair.* 2018. V. 72. P. 28-38.
7. Talhaoui I., Lebedeva N.A., Zarkovic G., Saint-Pierre C., Kutuzov M.M., Sukhanova M.V., Matkarimov B.T., Gasparutto D., Sapparbaev M.K., Lavrik O.I., Ishchenko A.A. Poly(ADP-ribose) polymerases covalently modify strand break termini in DNA fragments in vitro // *Nucleic Acids Res.* 2016. V. 44. N 19. P. 9279-9295.
8. Zarkovic G., Belousova E.A., Talhaoui I., Saint-Pierre C., Kutuzov M.M., Matkarimov B.T., Biard D., Gasparutto D., Lavrik O.I., Ishchenko A.A. Characterisation of DNA ADP-ribosyltransferase activities of PARP2 and PARP3: new insights into DNA ADP-ribosylation // *Nucleic Acids Res.* 2018. V. 46. N 5. P. 2417-2431.
9. Belousova E.A., Ishchenko A.A., Lavrik O.I. Dna is a New Target of // *Scientific Reports.* 2018. V. 8. N 1. P. 4176.
10. Sukhanova M.V., Abrakhi S., Josi V., Pastre D., Kutuzov M.M., Anarbayev R.O., Curmi P., Hamon L., Lavrik O.I. Single molecule detection of PARP1 and PARP2 interaction with DNA strand breaks and their poly(ADP-ribosylation) using high-resolution AFM imaging // *Nucleic Acids Res.* 2016. V. 44. N 6. P. e60.
11. Sukhanova M.V., Hamon L., Kutuzov M.M., Joshi V., Abrakhi S., Dobra I., Curmi P.A., Pastre D., Lavrik O.I. A Single-Molecule Atomic Force Microscopy Study of PARP1 and PARP2 Recognition of Base Excision Repair DNA Intermediates // *J Mol Biol.* 2019. V. 431. N 15. P. 2655-2673.
12. Алемасова Е.Э., Лаврук О.И. На стыке трех нуклеиновых кислот: роль РНК-связывающих белков и поли(ADP-рибозы) в репарации ДНК // *Acta Naturae.* 2017. Т. 9. № 2 (33). С. 4-17.
13. Altmeyer M, Neelsen KJ, Teloni F, Pozdnyakova I, Pellegrino S, Grøfte M, Rask MD, Streicher W, Jungmichel S, Nielsen ML, Lukas J. Liquid demixing of intrinsically disordered proteins is seeded by poly(ADP-ribose) // *Nat Commun.* 2015. V. 6. P. 8088.
14. Singatulina A., Hamon L, Bouhss A., Desforges B., Sukhanova M.V., Lavrik O.I., Pastre D. PARP-1 activation directs FUS to DNA damage sites to form PARG-reversible compartments enriched in damaged DNA // *Cell Reports.* 2019. V. 27. N 6. P. 1809-1821.
15. Zakharenko A.L., Luzina O.A., Sokolov D.N., Kaledin V.I., Nikolin V.P., Popova N.A., Patel J., Zakharova O.D., Chepanova A.A., Zafar A., Reynisson J., Leung E., Leung I.K.H., Volcho K.P., Salakhutdinov N.F., Lavrik O.I. Novel tyrosyl-DNA phosphodiesterase 1 inhibitors enhance the therapeutic impact of topotecan on in vivo tumor models // *Eur. J. Med. Chem.* 2019. V. 161. P. 581-593.
16. Zakharenko A., Dyrkheeva N., Lavrik O. Dual DNA topoisomerase 1 and tyrosyl-DNA phosphodiesterase 1 inhibition for improved anticancer activity // *Med. Res. Rev.* 2019. V. 39. N. 4. P. 1427-1441.
17. Evdokimov A.N., Kutuzov M.M., Petrusheva I.O., Lukjanchikova N., Kashina E., Kolova E., Zemerova T.P., Romanenko S.A., Perelman P., Prokopov D., Seluanov A., Gorbunova V., Graphodatsky A.S., Trifonov V.A., Khodyreva S.N., Lavrik O.I. Naked mole rat cells display more efficient excision repair than mouse cells // *Aging-US.* 2018. V. 10. N 6. P. 1454-1473.
18. Kosova A.A., Kutuzov M.M., Evdokimov A.N., Ilina E.S., Belousova E.A., Romanenko S.A., Trifonov V.A., Khodyreva S.N., Lavrik O.I. Poly(ADP-ribosylation) and DNA repair synthesis in the extracts of naked mole rat, mouse, and human cells // *Aging (Albany NY).* 2019. V. 11. N 9. P. 2852-2873.

Ю.М. Шатунов¹

Аномальный магнитный момент мюона – тест Стандартной модели

История изучения магнитных моментов элементарных частиц началась в 1921 г. со знаменитого опыта Штерна–Герлаха. В этом и последующих экспериментах было показано, что магнитный момент атомов серебра принимает ровно два значения, которые согласуются с величиной магнетона Бора $e\hbar/2m$

Только через несколько лет, когда Г. Уленбек и С. Гудсмит предположили существование спина у электрона, стало понятно, что магнитный момент атомов серебра формируется спином единственного валентного электрона и выяснилось, что в опыте Штерна- Герлаха впервые был измерен спин электрона.

Магнитный момент $\boldsymbol{\mu}$ элементарной частицы массой m связан с её спином s соотношением $\boldsymbol{\mu} = g \left(\frac{e\hbar}{2m} \right) \mathbf{s}$, где g – гиромагнитное отношение, e – заряд частицы.

Из результатов измерений следовало, что для электрона $g_e = 2$, что в два раза превышало значение, ожидаемое из классического предела для орбитальных моментов. Релятивистское уравнение Дирака, предложенное в 1928 г., объяснило и наличие спина электрона, и величину гиромагнитного отношения.

Вторая мировая война привела к быстрому прогрессу в развитии микроволновой техники. Использование новой техники в физических лабораториях позволило на несколько порядков повысить точность измерений. В 1947 г. в ряде точных измерений сверхтонкой структуры атомных переходов было показано, что g_e немного отличается от 2. Гиромагнитное отношение принято записывать в виде: $g = 2(1 + a)$, где безразмерную величину a называют *аномальным магнитным моментом*. В частности, из измерений следовало, что $a_e = (1,15 \pm 0,04) \times 10^{-3}$. Это измерение стало первым в длинной череде измерений a_e со всё возрастающей точностью. Наилучшие результаты были получены в конце XX века с помощью резонансного метода, в котором измерения проводятся для одного электрона или позитрона, захваченного в ловушку Пеннинга: $a_e = 1,159652193 \cdot 10^{-3}$.

В 1928 году Ю. Швингер показал, что отличие g_e от 2 связано с радиационными поправками, и вычислил аномальный магнитный момент электрона в первом порядке теории возмущений: $a_e = \alpha/(2\pi) \approx 1,16 \times 10^{-3}$ ($\alpha = 1/137$ – постоянная тонкой структуры). Этот результат, а также вычисление величины лэмбовского сдвига, тоже открытого в 1947 г., стали триумфом новой теории – квантовой электродинамики (КЭД).

Стандартная модель элементарных частиц

Следующее развитие теории элементарных частиц было вызвано большим числом новых частиц, «производство» которых было поставлено на поток в изучении космических лучей и, особенно, с помощью построенных для этих целей ускорителей в 40-х и 50-х годах прошлого столетия. Разнообразие масс этих новых частиц и их свойств привело к созданию новой «таблицы Менделеева» для классификации элементарных частиц и их взаимодействий», а именно к идее кварков, выдвинутой М. Гелл-Маном в середине 60-х годов. Развитие этой идеи вследствие успехов теоретических работ и экспериментов на ускорителях привело к созданию

¹Главный научный сотрудник Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, член-корреспондент РАН

Стандартной модели строения и взаимодействий элементарных частиц. Эта теория базируется на очень небольшом количестве постулатов и позволяет теоретически предсказывать свойства тысяч различных процессов в мире элементарных частиц. В подавляющем большинстве случаев эти предсказания подтверждаются экспериментом, иногда с исключительно высокой точностью, а те редкие случаи, когда предсказания Стандартной модели расходятся с опытом, становятся предметом жарких споров. Рабочим инструментом Стандартной модели является квантовая теория поля – теория, приходящая на смену квантовой механике при скоростях, близких к скорости света. Ключевые объекты в ней не частицы, как в классической механике, и не «частицы-волны», как в квантовой механике, а **квантовые поля**: электронное, мюонное, электромагнитное, кварковое и т.д. – по одному для каждого сорта «сущностей микромира».

Набор фундаментальных «кирпичиков» материи – **шесть сортов лептонов и шесть сортов кварков**. Все эти частицы являются фермионами со спином $1/2$ и очень естественным образом организуются в три поколения. Многочисленные адроны – составные частицы, участвующие в сильном взаимодействии, – составлены из кварков в разных комбинациях. Три типа сил, действующих между фундаментальными фермионами, – электромагнитные, слабые и сильные. Сильное взаимодействие с помощью глюонов связывает кварки в адроны. Слабое и электромагнитное взаимодействия являются двумя сторонами единого электрослабого взаимодействия. Лептоны (электрон e , мюон μ , тау-лептон τ и три типа нейтрино) не участвуют в сильном взаимодействии.

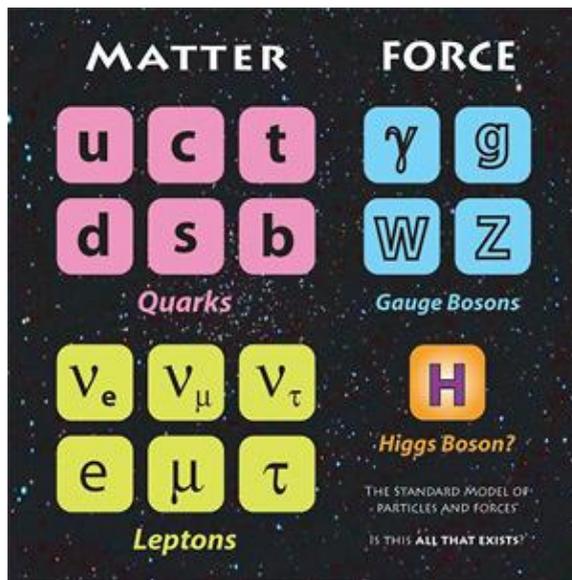


Рис.1. Фундаментальные частицы Стандартной модели: (три поколения кварков и лептонов, частицы-переносчики силовых взаимодействий между ними и найденный недавно хиггсовский бозон **H**)

Численные значения для **примерно двух десятков констант**: это массы фундаментальных фермионов, численные значения констант связи взаимодействий, которые характеризуют их силу, и некоторые другие величины. Все они раз и навсегда

извлекаются из сравнения с опытом и при дальнейших вычислениях уже не подгоняются.

Все предсказания СМ рано или поздно были подтверждены экспериментально при создании соответствующих по энергии ускорительных установок. Основной вклад в эти поиски предсказаний внесли электрон-позитронные накопители со встречными пучками, история которых началась в 60-х годах в Новосибирске. Энергия e^+e^- – коллайдеров ограничена потерями на синхротронное излучение, поэтому последние открытия в рамках СМ при энергиях выше 1 ТэВ были сделана на адронных коллайдерах: Теватрон в лаборатории Ферми (США) и ЛНС в ЦЕРНе.

Стандартная модель не способна описать некоторые явления, наблюдаемые в природе. В частности, в ней нет места массам нейтрино и частицам темной материи. Стандартная модель не учитывает гравитацию и неизвестно, что с этой теорией происходит на планковском масштабе энергий, когда гравитация становится чрезвычайно важной.

Существует множество теорий, расширяющих Стандартную модель, например, семейство суперсимметричных теорий. Однако экспериментальные данные в настоящее время не позволяют сделать выбор в пользу какого-либо варианта таких теорий. Поэтому одним из основных направлений исследований в области физики высоких энергий является поиск в лабораторных экспериментах явлений за рамками Стандартной модели». Их обнаружение должно дать толчок к созданию новой, более полной, теории мира и определению круга возможных претендентов на эту роль. Основным направлением поисков является проведение экспериментов при всё возрастающих энергиях частиц. Особые надежды возлагаются на продолжающиеся эксперименты на ЛНС, где возможно рождение частиц с массой до нескольких ТэВ. Другое направление поисков – проведение экспериментов при относительно небольших энергиях, но с очень высокой точностью. Целью таких экспериментов является поиск либо очень редких явлений, запрещённых или сильно подавленных в Стандартной модели, либо отличий измеренного значения наблюдаемой величины от её значения, предсказанного теорией. Измерение аномального магнитного момента мюона представляет собой самый яркий пример эксперимента последнего типа.

Аномальный магнитный момент мюона

Возможность измерения аномального магнитного момента мюона была предсказана Ли и Янгом как следствие выдвинутой ими гипотезы о несохранении чётности в слабых взаимодействиях. Благодаря несохранению чётности мюоны оказываются уникальными лабораторными объектами: относительно легко получить пучки поляризованных мюонов, так как мюоны, рождённые при распаде пионов, являются продольно поляризованными, и относительно легко измерить направление спина мюона по угловому распределению распадных электронов. Другими словами, природа наделила мюоны «бесплатными» поляризатором и поляриметром.

Впервые измерение гиромангнитного отношения мюона g_μ было проведено на циклотроне Невисских лабораторий (Nevis Laboratories) в США в 1957 г. Точность измерения, $g_\mu = 2,00 \pm 0,10$, тогда не позволяла сделать вывод о величине аномального магнитного момента мюона, однако в этом эксперименте было установлено, что мюон является точечной частицей и подтверждено несохранение чётности при распадах пионов и мюонов. В 1960 г. были опубликованы результаты более точного измерения на циклотроне Nevis [17]: $g_\mu = 2(1,00122 \pm 0,00008)$, что приблизительно с 10 %-й точностью подтвердило, что $a_\mu \approx \alpha/(2\pi)$, т.е. мюон – тяжёлый аналог электрона.

Ненулевое значение a является результатом взаимодействия частицы с виртуальными частицами – флуктуациями квантовых полей, составляющих вакуум. Поэтому, измеряя величину аномального магнитного момента, можно оценить интегральный вклад всех существующих полей (взаимодействий), включая те, которые не описаны в рамках Стандартной модели. Величина аномального магнитного момента электрона практически полностью определяется электромагнитными взаимодействиями. Поэтому сверхточные измерения a_e можно использовать для проверки квантовой электродинамики, на сегодняшний день - до пятого порядка по теории возмущений ($\sim (\alpha/\pi)^5$), а также для уточнения параметров КЭД, например для получения наиболее точного значения постоянной тонкой структуры α .

Доминирование электромагнитных взаимодействий несколько ослаблено в случае аномального магнитного момента мюона. Большая масса мюона усиливает вклад массивных полей по сравнению с вкладом в a_e примерно в 43000 раз, другими словами, мюон позволяет «заглянуть» в область более высоких переданных импульсов и «увидеть» проявления полей за рамками КЭД (сильных и слабых взаимодействий и, возможно, взаимодействий за рамками Стандартной модели). Поэтому с самого начала возник большой интерес к измерениям a_μ , даже с точностью, значительно уступающей точности измерений a_e , именно как к более чувствительному инструменту по проверке теории.

В 1960-х – 1970-х годах в ЦЕРНе была проведена серия измерений аномального магнитного момента мюона со всё возрастающей точностью. В первом эксперименте (CERN I) удалось подтвердить предсказания КЭД для величины a_μ с учётом вкладов порядка α/π и $(\alpha/\pi)^2$. В конце 1960-х годов второй эксперимент (CERN II) точность 0,027 % позволил проверить предсказание КЭД с учётом вкладов вплоть до $(\alpha/\pi)^3$. Кроме того, в этом эксперименте аномальный магнитный момент впервые был измерен как для μ^+ , так и для μ^- . В 1970-х годах в ЦЕРНе была проведена ещё одна серия экспериментов (CERN III), в которых впервые была применена методика, ставшая «золотым стандартом» для последующих экспериментов. Достигнутая точность в 7,3 ppm (или 0,00073 %) позволила «увидеть» не только вклад КЭД, но и вклад сильных взаимодействий с точностью $\sim 10\%$.

Следующий, наиболее точный на настоящий момент, эксперимент E821 по измерению аномального магнитного момента был проведён в конце 1990-х – начале 2000-х годов в Брукхейвенской национальной лаборатории (БНЛ, США). В целом, схема эксперимента повторяла схему эксперимента CERN III. Однако множество улучшений отдельных систем и использование новых подходов в схеме эксперимента позволили эксперименту E821 достичь точности, в 14 раз превышающей точность эксперимента CERN III. По результатам анализа всей накопленной статистики аномальный магнитный момент был измерен независимо для μ^- и μ^+ с точностью 0,7 ppm. Полученные результаты согласуются между собой, подтверждая СРТ-инвариантность. Посредством объединения результатов для μ^- и μ^+ был получен окончательный результат измерения, точность которого составила 0,54 ppm.

Эксперимент E821 в Брукхейвенской национальной лаборатории

Примерно в 1984 г. была сформирована коллаборация нового эксперимента, E821, по измерению a_μ в Брукхейвенской национальной лаборатории (США), где работал протонный синхротрон AGS. Протонный пучок, состоящий из 10-12 сгустков, ускоряется в синхротроне AGS до энергии 25 ГэВ. Сгустки с числом протонов $\approx 5 \cdot 10^{11}$ выпускались поочередно на мишень, где рождались π -мезоны, которые затем направлялись в длинный канал, где π -мезоны, в свою очередь распались на мюоны и нейтрино ($\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$). Мюоны инжектируются в накопитель длиной 44 м с однородным магнитным и

слабофокусирующим электрическим полями. При импульсе мюона $p_\mu = 3.094 \text{ ГэВ/с}$ ($\gamma_\mu = 29.3$) электрическое поле не влияет на движение спина и частота прецессии определяется только аномальной частью магнитного момента и магнитным полем.

Схема эксперимента E821 представлена на рис. 2.

Параметры распадного канала подбирались так, чтобы оптимизировать количество захваченных в накопительное кольцо мюонов и их поляризацию. В такой конфигурации приблизительно 2×10^4 мюонов инжектировались в накопительное кольцо, при этом поляризация мюонного пучка составляла 95%. Попадая в однородное магнитное поле накопительного кольца после удара кикером, инжектированный пучок движется по круговой орбите, Фокусировка пучка осуществляется квадрупольным электрическим полем, которое при «магической» энергии ($\gamma_\mu = 29.3$) не влияет на прецессию спина.

Накопительное кольцо представляло собой единый магнит, конструкция которого позволяла добиться высокой однородности поля в области накопления. Магнитное поле создаётся четырьмя 14-метровыми 24-витковыми сверхпроводящими обмотками. Обмотки запитываются стабилизированным источником тока (номинальный рабочий ток 5200 А). Конструкция магнита включала в себя набор элементов для пассивного шиммирования и систему плоских обмоток для активного шиммирования магнитного поля расположенных на поверхности полюсов. Окончательно была достигнута однородность $\square 10^{-6}$. Магнитное поле в накопительном кольце измерялось и мониторировалось с помощью ЯМР-методики в единицах частоты прецессии свободного протона ω_p . Для измерения карты поля во всей области накопления мюонов использовалась специальная подвижная тележка, на которой устанавливалось 17 датчиков ЯМР. Одно измерение карты поля занимало около 2 ч.

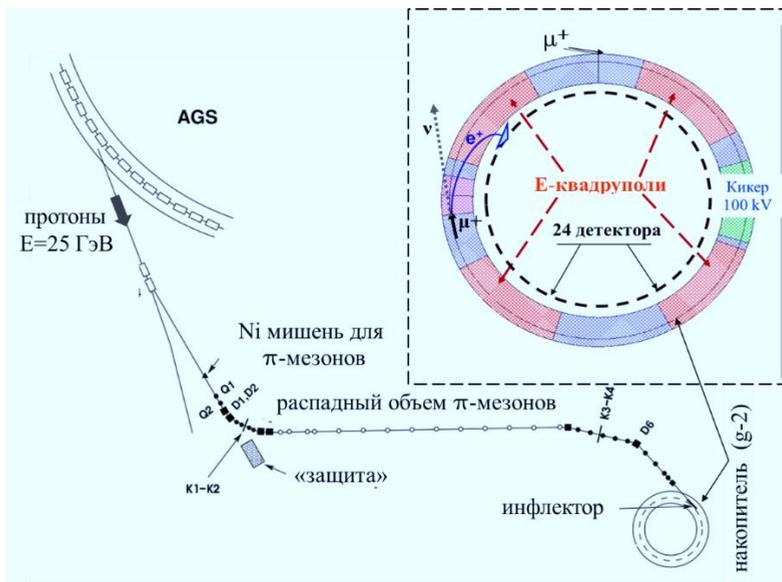


Рис.2 Схема эксперимента по измерению аномального магнитного момента мюона

Электроны и позитроны, продукты распада мюонов, регистрировались 24 электромагнитными калориметрами, равномерно расположенными рядом с вакуумной камерой на внутреннем радиусе накопительного кольца (положения калориметров отмечены на рис.2). Аналоговые сигналы с четырёх ФЭУ, обслуживающих один калориметр, суммировались и поступали на два канала оцифровки в специально разработанные четырёхканальные АЦП, которые непрерывно оцифровывали поступающие сигналы с частотой 200 МГц. Оцифровка продолжалась в течение 700–1000 мкс после инжекции, и данные накапливались в буферной памяти АЦП, откуда они извлекались системой сбора данных во время паузы между инжекциями.

Для измерения частоты прецессии спина строится распределение событий по времени $N(t)$ для электронов (позитронов), зарегистрированных в калориметрах, с энергией выше пороговой ($E=1.8$ ГэВ). В идеальном случае распределение описывается функцией

$$N(t) = \frac{N_0}{\gamma\tau_\mu} \exp\left(-\frac{t}{\gamma\tau_\mu}\right) \left[1 - A \cos(\omega_a t + \phi)\right],$$

где параметры распределения N_0 , A и ϕ зависят от пороговой энергии электрона. На рис. 3 показан результат набора статистики в одном из 14 экспериментальных сезонов.

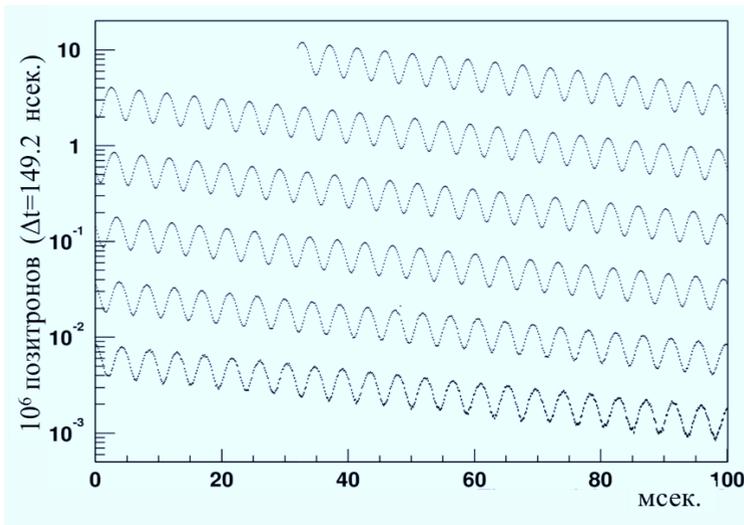


Рис.3. Поведение скорости счета позитронов при наборе статистики

На рис. 3 каждая точка показывает сумму позитронов (в миллионах штук) с энергией более 1.8 ГэВ, набранных за 149.2 нсек всеми 24 детекторами. Полное время набора разбито на рисунке на подциклы по 100 мсек. каждый. Всего за сезон записано около 4.5 миллиардов слабых распадов мюонов на позитрон и нейтрино. Явно видна модуляция скорости счета частотой спиновой прецессии. Однако Фурье анализ записанных событий кроме частоты аномальной прецессии обнаружил также паразитную модуляцию скорости счета от коллективных бетатронных колебаний пучка.

Хорошо выделяются частоты горизонтальных и вертикальных когерентных бетатронных колебаний и частота колебаний вертикального размера пучка. В итоге,

вместо простой зависимости с двумя подгоночными параметрами, для получения приемлемого значения параметра χ^2 искомую частоту ω_s пришлось выделять из сложного спектра с 14-ю свободными параметрами.

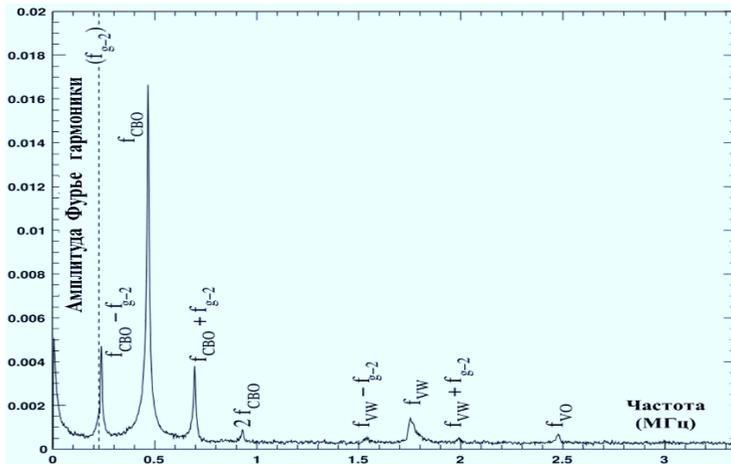


Рис 4. Данные Фурье анализа

Проведение эксперимента в БНЛ заняло более четырех лет, в течение которых было получено примерно равное число положительных и отрицательных мюонов.

Независимая обработкой данных для вычисления a_μ была сделана для всех заходов. Усредненные по 1999-2001 годам экспериментальное значение аномального магнитного момента мюона $a_\mu(E821) = 116592(63) \times 10^{-10}$ с точностью 0.54 ppm.

На этом уровне точности становятся существенными вклады всех взаимодействий, предсказанных Стандартной моделью. Интерес вызывает не собственно величина аномального магнитного момента мюона, а её отличие от расчётного значения в рамках Стандартной модели.

Аномальный магнитный момент мюона в Стандартной модели

В Стандартной модели значимый вклад в аномальный магнитный момент мюона вносят все взаимодействия, кроме гравитационного, — электромагнитное, сильное и слабое: $a_\mu = a_\mu^{QED} + a_\mu^{had} + a_\mu^{EW}$. Вклад электромагнитных взаимодействий (КЭД) является доминирующим. На сегодняшний день проведены вычисления до пятого порядка теории возмущения, так что точность вычисления электромагнитного вклада значительно превышает точность измерения магнитного момента также, как и точность вычисления электрослабого вклада. Однако в случае сильных взаимодействий ситуация принципиально отличается. Ввиду непертурбативности КХД его нельзя провести из «первых принципов» в рамках теории возмущений. Фактически единственный метод, с помощью которого на сегодняшний день удаётся вычислить лидирующий вклад в a_μ^{had} , состоит в интегрировании полного сечения аннигиляции e^+e^- в адроны. Особенность вычисления заключается в том, что вклад каждой области энергий входит в интеграл с весом $1/E^2$, где E — энергия электрона и позитрона в системе центра масс, поэтому основной вклад набирается в области низких энергий $E < 2$ ГэВ.

Наиболее точные прямые измерения эксклюзивных сечений рождения адронов при низких энергиях были проведены в Институте ядерной физики (ИЯФ) им. Г.И. Будкера СО РАН в цикле экспериментов с детекторами КМД-2 (криогенный магнитный детектор – КМД) и СНД (сферический нейтральный детектор) на ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-2М. Набор данных проводился с 1993 г. по 2000 г., основные результаты были опубликованы в начале 2000-х годов.

Результаты измерений различных каналов рождения адронов при электрон-позитронной аннигиляции на ВЭПП-2М приведены на рис. 5.

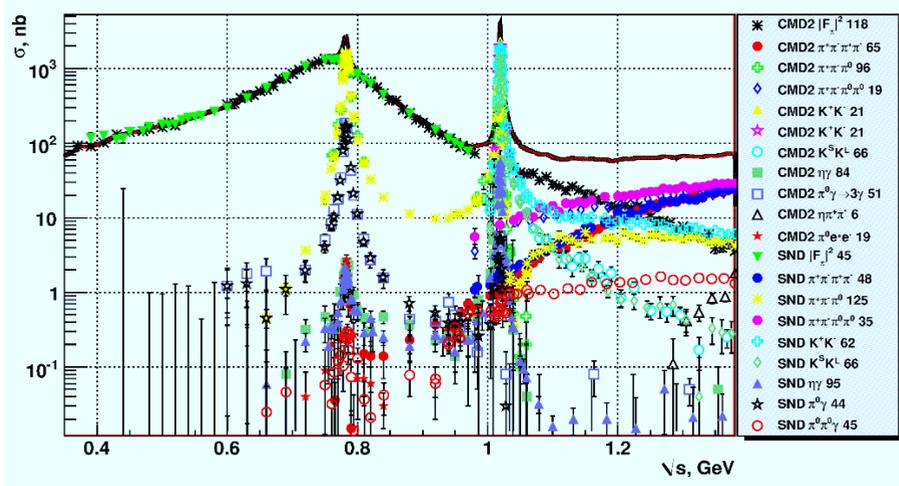


Рис. 5. Результаты измерений на ВЭПП-2М

Благодаря появлению новых e^+e^- -коллайдеров с высокой светимостью: В-фабрик BaBar и Belle-фабрики KLOE в начале 2000-х годов была развита новая методика измерения адронных сечений – методика радиационного возврата (ISR). Детальное измерение сечений методом радиационного возврата было проведено в эксперименте BaBar (рис.6)

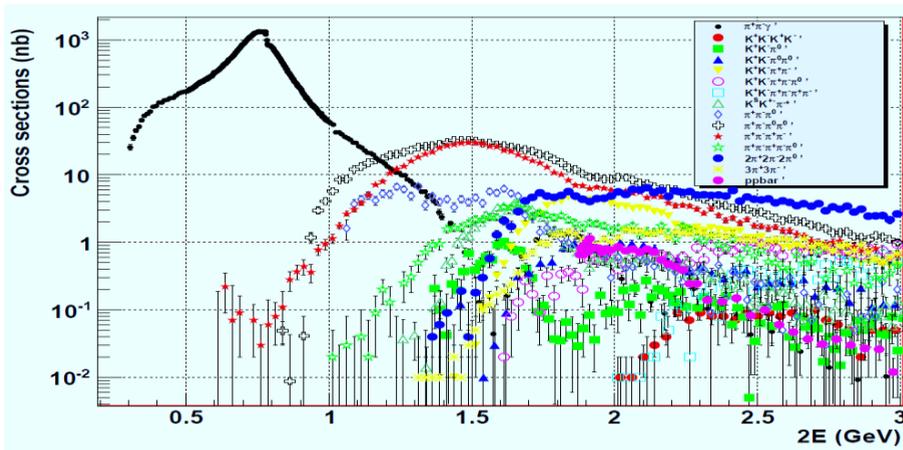


Рис. 6. Результаты детектора Babar (SLAC, США)

Несколько групп теоретиков в рамках Стандартной модели с учётом всех существующих на сегодняшний день измерений адронных сечений провели расчёты a_μ . Сравнение самых недавних вычислений с экспериментальными данными представлено на рис. 7.

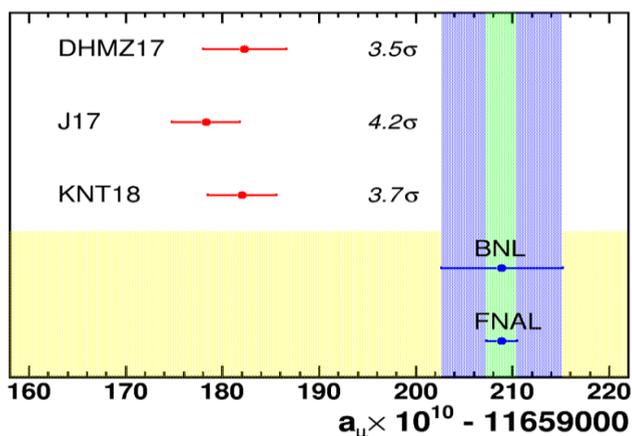


Рис.7. Сравнение теории и эксперимента



Рис.8. Накопитель ВЭПП-2000 с детекторами КМД-3 и СНД

Между результатом измерения аномального магнитного момента мюона в эксперименте E821 и его предсказанием в рамках Стандартной модели наблюдается разница на уровне 3,5-4 стандартных отклонений. Учитывая сложность эксперимента и расчётов, такой уровень различия преждевременно интерпретировать как надёжно установленный факт проявления взаимодействий за рамками Стандартной модели. Тем не менее этот результат вызвал огромный интерес научного сообщества, и на сегодняшний день он является наиболее значимым наблюдением расхождения

предсказания Стандартной модели с результатами лабораторного эксперимента. Были проведены расчеты некоторых новых процессов (например, рассеяние «сета на свете»), которые практически не изменили разницу теоретических и экспериментальных значений аномального магнитного момента мюона.

В настоящее время исследование проблемы ведется в нескольких направлениях. Теоретики продолжают поиск дополнительных вкладов в $(g-2)$ в рамках Стандартной модели. Некоторый прогресс наблюдается в новом подходе – «решеточные расчеты».

Ведётся подготовка сразу двух экспериментов, в которых предполагается улучшить точность измерения аномального магнитного момента мюона. Постановка эксперимента E989 в Фермилаб, в целом, повторяет схему измерения CERN III и E821, однако благодаря улучшению практически всех компонентов эксперимента и набора на порядок большей статистики планируется достичь в четыре раза лучшей относительной точности (0,14 ppm). Эксперимент в лаборатории Ферми в 2018 г. начал набор экспериментальных данных. Второй эксперимента E34, планируемый в J-PARC (Япония), значительно отличается от традиционной схемы. Благодаря этому можно ожидать, что систематические ошибки измерений в Фермилаб и J-PARC будут практически независимы.

ВЭПП-2М закончил работу в 2001 г., и на его месте построен новый e^+e^- -коллайдера ВЭПП-2000 с более широкой рабочей областью энергий, до 2 ГэВ и на порядок более высокой светимостью (рис. 8) Два детектора, КМД-3 и модернизированный СНД начали набор экспериментальной статистики в 2010 г.

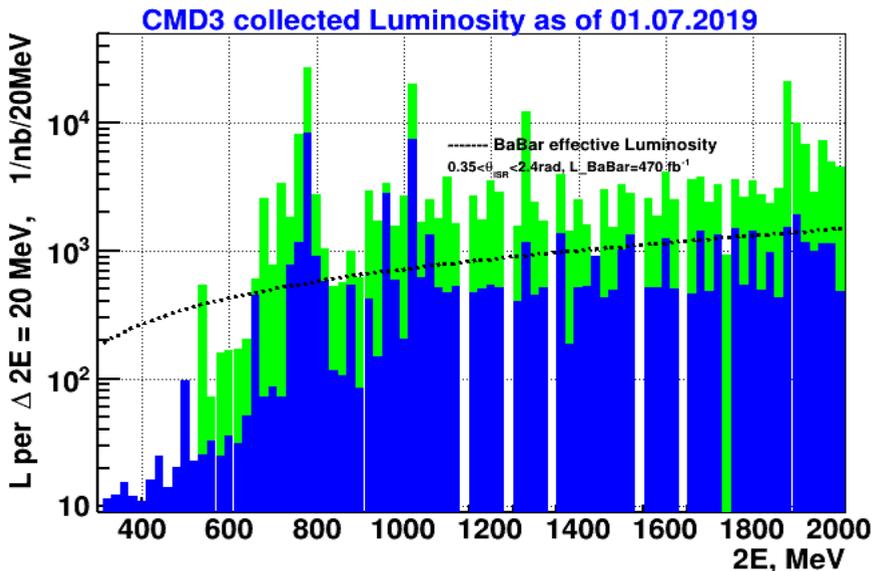


Рис.9. Сравнение данных Babar и недавних результатов ВЭПП-2000

Измерение сечений $e^+e^- \rightarrow$ адроны является одной из основных задач экспериментов на этом накопителе. Одной из проблем ВЭПП-2М был хронический дефицит позитронов. С пуском в ИЯФ нового инжекционного комплекса для ВЭПП-2000 этой проблемы больше не существует. На ВЭПП-2000 планируется набор интеграла светимости в 10 раз превышающий результат его предшественника. Результаты измерений некоторых конечных состояний уже опубликованы. На рис. 9 приведено сравнение уже полученных данных ВЭПП-2000 (зеленый цвет) и данных Babar (синий цвет).



**УРАЛЬСКОЕ
ОТДЕЛЕНИЕ**



Н.Ю. Лукоянов¹

О перспективах создания Уральского междисциплинарного центра высокопроизводительных вычислений

В Уральском отделении РАН всегда уделялось большое внимание развитию вычислительных средств поддержки научных исследований и решению прикладных задач на базе вычислительной техники высокой производительности. Наряду с развитием на Урале исследований в области математики и механики это было одной из целей создания СОМИ – ИММ УрО РАН. Вычислительный центр всегда был неотъемлемой частью Института. Первой электронно-вычислительной машиной Центра была установленная в 1961 году ЭЦВМ «Урал-1». Быстродействие этого вычислителя составляло 100 операций в секунду, память – 4,5 килобайт, он занимал площадь 80 м² и потреблял 10 кВт электроэнергии. Затем в 1971 году Центр получил БЭСМ-6, лучшую ЭВМ того времени, с быстродействием миллион операций в секунду и памятью 32 килобайта. Эта вычислительная машина занимала зал площадью 225 м² и потребляла 50 кВт.

В 1982 году вычислительный парк Центра пополнился ЭВМ единого семейства ЕС-1060, с производительностью также миллион операций в секунду, но с существенно большей памятью – 4096 килобайт. Эта машина занимала площадь 200 м² и потребляла 80 кВт. По современным меркам это были весьма скромные «суперкомпьютеры». Для сравнения – быстродействие современных персональных компьютеров и смартфонов исчисляется в гигафлопсах (миллиардах операций в секунду), а память – в гигабайтах (миллионах килобайт). Тем не менее, с их помощью решались весьма серьезные задачи.

Вот несколько примеров: велись расчеты ориентации искусственных спутников Земли, проводилось объемно-календарное планирование производственных процессов для завода «Уралмаш», решались задачи баллистики и управления летательными аппаратами, была создана математическая модель летательного аппарата комплекса С-300. Основная тенденция этого периода, 1960-1990 гг., – работа на оборонные и высокотехнологичные предприятия.

В период 1990-2010 гг. в вычислительном центре ИММ УрО РАН появились многопроцессорные компьютеры, в 1994 г. – МВС-100 (быстродействие – 10 гигафлопс, память – 4 гигабайта, площадь – 2 м², потребление энергии – 1 кВт), в 2003 г. – МВС-1000/17ЕК (кластер из 16 двухпроцессорных узлов, быстродействие – 100 гигафлопс, память – 8 гигабайта, площадь – 2 м², потребление энергии – 3 кВт). Так получилось, что в связи с бурным развитием в этот период персональной компьютерной техники, более простой и удобной в использовании и, вообще говоря, соизмеримой по производительности, эти суперкомпьютеры не были востребованы в полной мере. Тенденции того времени:

- Потеря интереса промышленности к вычислениям на «больших» компьютерах;
- Переориентация части исследований на гражданскую тематику;
- Институты УрО РАН переходят на вычисления на ПЭВМ.

Примеры решаемых задач:

- Моделирование газодинамических и акустических процессов в камерах сгорания ракетных двигателей на твердом топливе;
- Задачи тепловой конвекции высоковязкой жидкости;

¹ Член-корреспондент РАН, директор Института математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН

- Изучение динамики земной коры;
- Реконструкция изображений объектов по данным инфракрасных датчиков.

В 2010 году Уральским отделением РАН была принята прогрессивная программа по созданию на Урале к 2015 году на базе ИММ УрО РАН суперкомпьютера петафлопсной (10^{15} операций в секунду) производительности. Так появился суперкомпьютер «Уран». К 2013 году его производительность достигла четверти петафлопса, оперативная память – 6976 гигабайт, занимаемая площадь – 30 м², энергопотребление – 30 Квт. Суперкомпьютер «УРАН» был оснащен системой хранения данных в 234 терабайта. В 2013 году он занимал пятое место в рейтинге ТОП50 отечественных суперкомпьютеров.

К сожалению, данная программа не была завершена. В 2013 году в результате реформы Российской академии наук Уральское отделение РАН перестало быть распорядителем средств для академических институтов и финансирование программы прекратилось. Тем не менее, появление суперкомпьютера с мощностью на три порядка выше, чем у персонального компьютера, привело к резкому увеличению интереса институтов УрО РАН к высокопроизводительным вычислениям и математическому моделированию. К 2018 году пользователями суперкомпьютера «Уран» являются 15 институтов УрО РАН, на ИММ приходится лишь 11% потребляемых вычислительных мощностей. В основном суперкомпьютер используется для проведения фундаментальных научных исследований и решения прикладных задачи гражданской тематики.

Распределение ресурсов по институтам (2017 г.):

Организация	ЦПУ*час	Количество запусков задач	% использования суперкомпьютера
ИМЕТ УрО РАН	1974541	54991	21
ИТФ УрО РАН	1824848	540188	20
ИМ УрО РАН	1614240	514	17
ИММ УрО РАН	975377	309399	11
ИФМ УрО РАН	753530	6155	8
ИХТТ УрО РАН	645923	3856	7
ИМСС УрО РАН	591136	28488	6
Остальные пользователи	623472	2723	7
Студенты	235637	10398	3

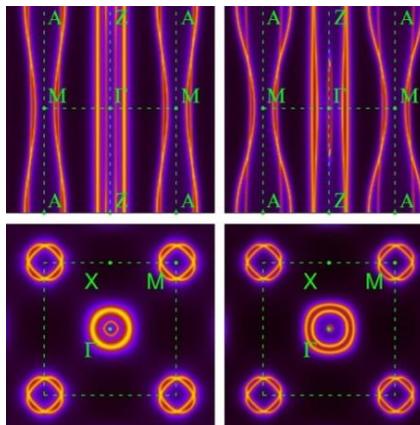
Востребованность суперкомпьютера подкрепляется доступом к нему через Интернет из любой точки мира. В ИММ УрО РАН была создана развитая информационно-телекоммуникационная сеть, связывающая институты УрО РАН (внутри Екатеринбурга на скорости до 10 Гб/с, Екатеринбург-Пермь – до 40 Гб/с, доступ в Интернет через магистральные каналы 2.5 Гб/с). Координированная работа суперкомпьютера и телекоммуникационной сети была апробирована в проекте «ГИГА»: обработка в реальном времени на суперкомпьютере «Уран» (Екатеринбург) потока данных с факела форсунки авиационного двигателя, получаемых на экспериментальной установке в ИМСС УрО РАН (Пермь).

Приведем несколько примеров научных исследований, проведенных с использованием суперкомпьютера «Уран».

Расчет поверхности Ферми сверхпроводника FeSe под давлением

Бинарная халкогенидная система FeSe является структурно простейшим высокотемпературным сверхпроводником на основе железа. Данное соединение является прототипом для всех новых сверхпроводящих систем. Исследование посвящено моделированию электронной структуры сверхпроводника под гидростатическим давлением.

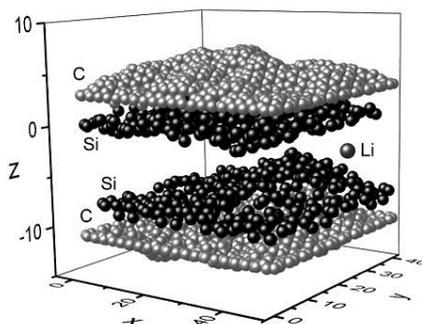
(Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН)



Молекулярно-динамическое моделирование анодов для литий-ионных батарей нового поколения

В молекулярно-динамической модели исследована миграционная способность иона лития, заключенного между фрагментами двухслойного силицена с поддержкой снаружи листами графена, при различных величинах зазора между листами силицена.

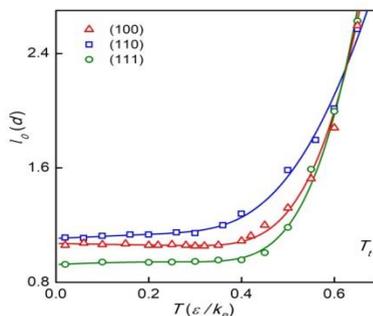
(Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН)



Молекулярно-динамическое изучение зародышей жидкой, паровой и кристаллической фаз

Методом молекулярной динамики в системе леннард-джонсовских частиц исследована структура квазижидкостного слоя. Исследуемые системы содержали от 64000 до 100000 частиц. Рассчитаны температурные зависимости поверхностных энергии, энтропии, натяжения, свободной энергии вдоль линии сублимации.

(Институт теплофизики УрО РАН)

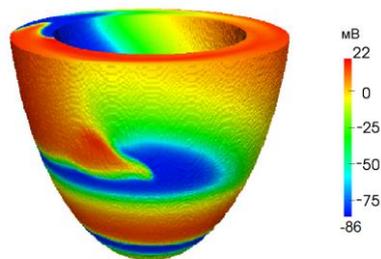


Температурная зависимость толщины квазижидкостного слоя

Трехмерная математическая модель сердца

- Моделирование электрической и механической активности миокарда в норме и при патологии.
- Изучение аритмий и действия антиаритмических препаратов на компьютерных моделях.
- Разработка алгоритмов щадящей электротерапии аритмий.

(Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, Институт иммунологии и физиологии УрО РАН)



Трехмерный вихрь в модели левого желудочка сердца человека

Математическое обеспечение систем управления движущимися объектами

- Расчет оптимальных траекторий вывода на орбиту ракет-носителей типа «СОЮЗ-2».
- Поиск управления, обеспечивающего вывод на заданную орбиту с максимальной массой полезной нагрузки.
- Экспериментальные виртуальные пуски.

(Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН)



(фото «Роскосмос»)

Обработка данных дистанционного зондирования земной поверхности

- Дешифрование космических снимков: определение контуров и типов имеющихся объектов по эталонным характеристикам.
- Создание и обновление электронных карт местности.
- Оперативный экологический мониторинг окружающей среды.

(Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН)



По консолидированному мнению специалистов современные суперкомпьютеры без модернизации устаревают в течение 3-5 лет. Финансирование программы создания нашего суперкомпьютера «Уран» прекратилось в 2014 г. В 2016 году было разовое вливание средств в размере 40 млн. руб., которые позволили «залатать дыры» и «остаться на плаву». Пока суперкомпьютер справляется с потребностями институтов

Уральского отделения, однако, аппетиты растут, суперкомпьютер загружен практически на 100% 24 часа в сутки, участились сбои и отказы.

TOP50 СНГ – сентябрь 2018 (TFlop/s)			в TOP500 выше, чем «Ломоносов-2»		всего в TOP500
1	МГУ	4 947	США	27	124
7	МСЦ РАН	524	Япония	12	36
9	ЮУрГУ	474	Германия	7	21
18	ИММ УрО РАН	226	Великобритания	6	22
50	госсектор (Москва)	82	Китай	4	206
			Франция	4	18
			Италия	4	5
			Индия	2	5
			Швейцария	1	3
			Южная Корея	1	7
			Канада	1	6
			Саудовская Аравия	1	4
			Испания	1	2
			Россия		4

TOP500 List - June 2018 (TFlop/s)		
1	Summit (США)	187 659
2	Sunway TaihuLight (КНР)	125 436
72	Ломоносов-2 (Россия)	4 947
500	SCSC(Швейцария)	839

Без регулярной модернизации «Уран» падает в рейтингах, занимая по состоянию на сентябрь 2018 года восемнадцатое место в TOP50 российских суперкомпьютеров. Если дальнейшего развития не будет, то через пару лет эксплуатация суперкомпьютера «Уран» станет не эффективной, уйдут кадры, и по сути, прервется полувекковая история развития вычислительного дела на Урале.

Если говорить в целом по России, то ситуация также не выглядит радужной. Лучший гражданский суперкомпьютер России «Ломоносов-2» (МГУ) по состоянию на июнь 2018 года занимает 72 место в TOP500 и имеет весьма скромную по современным меркам производительность в 5 петафлопс. Для сравнения, занимающий первое место в TOP500 суперкомпьютер «Summit» (США) имеет производительность порядка двухсот петафлопс, занимающий второе место суперкомпьютер «SunwayTaihuLight» (КНР) – 125 петафлопс. В США и Китае действуют программы по созданию к 2020-2021 году суперкомпьютеров экзафлопсной производительности.

Выше «Ломоносова-2» в TOP500 располагаются 27 суперкомпьютеров США, 12 – Японии, 7 – Германии, 6 – Великобритании, по 4 суперкомпьютера Китая, Франции, Италии, 2 – Индии и по одному суперкомпьютеру Швейцарии, Южной Кореи, Канады, Испании и Саудовской Аравии. Более того, в мире наблюдается массовое распространение суперкомпьютеров. В TOP500 входят 124 суперкомпьютера США, 206 Китая, 36 Японии, 22 Великобритании, 21 Германии, 18 Франции и только 4 – России.

Суперкомпьютеры сверхпетафлопсной производительности, по сути, становятся обыденным инструментом исследователей во всех областях науки и практики, предоставляя новые беспрецедентные возможности в математическом моделировании, обработке и анализе данных, проведении вычислительных экспериментов. Этот инструмент в разы ускоряет темп и эффективность исследований, а получается, что большинству российских исследователей он практически не доступен. Мы проигрываем уже на старте и, по мнению специалистов, буквально через два-три года это отставание станет критическим. Следует также отметить, что построить высокопроизводительный вычислитель это только полдела, надо уметь его эффективно использовать. Расхожее мнение, что вычислитель в сто раз большей производительности будет в сто раз быстрее решать задачи на тех же алгоритмах для

вычислителей сверхпетафлопной производительности не работает. Зависимость нелинейная, возникает эффект насыщения, начинают накапливаться ошибки и коллизии, учащаются сбои, на первый план выходят вопросы отказоустойчивости. Требуется разрабатывать специальные вычислительные методы и алгоритмы. Наши зарубежные коллеги этим уже занимаются, пробуют, экспериментируют, а мы — нет, потому что не на чем. Если так пойдет и дальше, то к использованию суперкомпьютеров мы все равно придем, но это будет на их технике, их математическом обеспечении, их технологиях, причем «не первой свежести».

Понимая серьезность ситуации, Российская академия наук в своем постановлении от 27.06.2018 № 112 «О мерах по развитию суперкомпьютерных цифровых технологий в Российской Федерации» выступила с инициативой создания межведомственного полигона под научно-методическим руководством РАН — центра компетенции по разработке и последующему тиражированию отечественных алгоритмов и математического обеспечения для систем сверхвысокой производительности и рекомендаций для решения задач, требующих больших вычислительных ресурсов, в виде распределенной суперкомпьютерной сети коллективного пользования с центром производительностью не менее 10 PTFLOPS и трех региональных центров производительностью не менее 3 PTFLOPS.

Поддерживая эту инициативу, в Уральском отделении на базе ИММ УрО РАН можно было бы создать один из таких региональных центров — Уральский центр высокопроизводительных вычислений, обработки и хранения больших объемов данных. Для этого есть все предпосылки: есть необходимые площади, своя трансформаторная подстанция, а, главное, высококвалифицированные специалисты и богатый опыт в использовании высокопроизводительной вычислительной техники. Важно, чтобы инициатива РАН получила необходимую поддержку, в том числе финансовую.

Перспективы модернизации:

Существующий суперкомпьютер «Уран», 225 терафлопс —

- 5 вычислительных стоек; 300 кВт энергии;
- максимальная мощность 10 TFlops за счет центральных процессоров + 215 TFlops за счет ускорителей;
- эффективность 0.75 Gflops/Watt.

Перспективный суперкомпьютер, 3000 терафлопс —

- 3 вычислительные стойки; 500 кВт энергии;
- максимальная мощность 1500 TFlops за счет центральных процессоров + 1500 TFlops за счет ускорителей;
- эффективность 6 Gflops/Watt.

Для справки: RIKEN — 18.4 Gflops/Watt (1 в GREEN500); Summit — 13.9 Gflops/Watt (1 в TOP500); SCSC — 2.5 Gflops/Watt (500 в TOP500)

Получаемые преимущества:

- *Повышение вычислительной мощности*

Сокращение времени расчетов: В задачах с подбором параметров многократно выполняется последовательный алгоритм с различными наборами входных параметров. Увеличение производительности пропорционально сокращает время расчетов.

- *Повышение пропускной способности внутренней сети*
Возможность обработки и анализа больших объемов данных.
- *Увеличение суммарного объема памяти*

Детализации моделирования: В сеточных задачах (аэро-гидродинамика, тепло-массоперенос, прочностные расчеты) увеличение оперативной памяти позволяет

повысить достоверность моделирования как по временной шкале (быстротекущие процессы), так и по пространственному разрешению (учёт влияние дефектов).

- *Принципиально новые задачи*

Возможность посчитать то, что раньше посчитать было невозможно.

Стратегические цели и задачи:

Цели:

- Создание базы для прорывного продвижения в фундаментальных и прикладных научных исследованиях.
- Решение «больших» вычислительных задач промышленности и научно-технологических предприятий.

Задачи:

- Создание и исследование вычислительных алгоритмов, прикладного математического обеспечения, позволяющих эффективно использовать вычислительные системы сверхвысокой производительности.
- Подготовка высококвалифицированных кадров в области высокопроизводительных вычислений, анализа и хранения больших данных.
- Пропаганда и популяризация возможностей суперкомпьютеров, повышение «суперкомпьютерной грамотности».
- Упрощение доступа к вычислительным и информационным ресурсам, расширение перечня и комплексности готовых решений востребованных задач.

Первоочередные тактические задачи:

- Уточнить круг промышленных и научно-технологических предприятий, научных и образовательных организаций, заинтересованных в создании Центра.
- Определить перечень «больших» задач, для решения которых нужны вычислительные и информационные ресурсы Центра.
- Оснастить Центр современной высокопроизводительной вычислительной техникой и средствами хранения данных.
- Войти во всероссийскую распределенную вычислительную сеть коллективного пользования.

С.А. Чайковский¹

Электрофизические установки для фундаментальных исследований и реального сектора экономики

Введение

В настоящее время исследования и разработки по направлению проекта интенсивно ведутся во всех развитых странах. Промышленные, медицинские и специальные технологии, основанные на электрофизических методах, интенсивно вытесняют традиционные технологии, вследствие открывающейся возможности получения принципиально новых качеств воздействия, его высокой избирательности, получения новых, ранее недостижимых свойств обрабатываемых и создаваемых материалов, гибкости и высокой управляемости технологий на основе электрофизических процессов.

¹ Директор Института электрофизики УрО РАН, доктор физико-математических наук

Проект направлен на освоение прорывных технологий создания мощной импульсной техники научного, промышленного и медицинского назначений. Целью проекта является создание уникальных приборов для научных исследований и прототипов оборудования для технического переоснащения промышленности и медицины Российской Федерации на основе электронно-плазменных, электроразрядных и лазерных методов.

Институт электрофизики УрО РАН характеризуется приоритетным развитием экспериментальных исследований в области создания приборов для фундаментальных и прикладных работ. На основе открытого в ИЭФ УрО РАН в 1992 г. эффекта сверхбыстрого обрыва тока (SOS-эффект) в полупроводниках в Институте были созданы уникальные высоковольтные генераторы частотного диапазона, разработка которых удостоена Госпремии РФ 2002г., международной премии Эрвина Маркса 2017г. Не имеющие аналогов малогабаритные импульсные установки «РАДАН», катодолуминесцентные анализаторы являются известным в мире брендом. Уникальны результаты по лабораторному исследованию пробоя на убегающих электронах, которые отмечены Премией Правительства РФ в области науки и техники 2016г. Существенных успехов Институт достиг в области плазменных технологий нанесения покрытий, востребованных организациями промышленного профиля. Разработан полный цикл изготовления высокопрозрачных лазерных керамик, обладающих не уступающей мировым аналогам прозрачностью и другими характеристиками. Разработаны основы технологии магнито-импульсной сварки высокопрочных металлических материалов.

К выполнению проекта предполагается привлечь Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина; Институт теплофизики УрО РАН; Институт металлургии УрО РАН; Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН; Институт сильноточной электроники СО РАН; Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, обладающих богатым опытом и большим научным заделом по тематике проекта, а также высоким потенциалом для реализации задач проекта.

Краткое описание предлагаемых разработок проекта

1. Компактные генераторы РАДАН© с расширенными функциональными возможностями и устройства формирования потоков направленной энергии на их основе (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – чл.-корр. РАН Шпак В.Г., академик Яландин М.И.)

2. Полупроводниковый генератор с экстремально высокой пиковой мощностью (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – д.т.н. Рукин С.Н.)

3. Установка для вакуумно-плазменной модификации материалов различного функционального назначения (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – чл.-корр. РАН Гаврилов Н.В.)

4. Импульсный малодозный компьютерный томограф (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – к.т.н. Корженевский С.Р.)

5. Компактная установка для радиационных технологий на базе УРТ-0.5М. (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – д.т.н. Соковнин С.Ю.)

6. Импульсный катодолуминесцентный спектрограф (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – д.ф.-м.н. Соломонов В.И.)

7. Установка для производительного – до 1 кг/час – получения нанопорошков (Al-Mg, Ni-Fe Al₂O₃, CuO, NiO, ZrO₂, TiO₂, (MgAl)₂O₃) (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – к.т.н. Бекетов И.В.)

8. Экспериментальный комплекс для создания высокопрозрачных лазерных керамик (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – чл.-корр. РАН Осипов В.В.)

9. Мобильный тестовый источник мощных наносекундных импульсов дециметрового диапазона длин волн (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – д.т.н. Кладухин В.В.).

10. Установка для плазменного синтеза и модификации порошковых материалов (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ –чл.-корр. РАН Осипов В.В.)

11. Установка магнитно-импульсного прессования порошков в сопровождении самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – к.ф.-м.н. Паранин С.Н.)

12. Многофункциональная плазменная установка (ИМЕТ УрО РАН). Установка закрывает потребность в создании специализированных комплексов для реализации следующих плазменных технологий: плазменная модификация (упрочнение) металлов - до и сверхзвуковое; плазменное напыления различных порошковых материалов; плазменная резка и сварка; получение металлических порошков (в т. ч. для аддитивных технологий).

13. Установка формирования гидратов компонентов природного газа (ИТФ УрО РАН). Газогидратные технологии перспективны для хранения и транспорта природного газа. Установка предназначена для создания образцов гидратов толщиной 100-200 микрон при скорости осаждения до 200 микрон/час.

14. Раскрытие тонковкрапленных минеральных комплексов гидроимпульсным методом (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – к.т.н. Корженевский С.Р.)

15. Автоматизированные системы задания и контроля газовой фазы с помощью электрохимических насосов и сенсоров (ИВТЭ УрО РАН). Эти системы позволяют регулировать в широком интервале парциальные давления кислорода и паров воды в газовом контуре высокотемпературных экспериментальных установок.

16. Экспериментальный комплекс для исследования процессов электрофизической обработки газов и материалов неравновесной плазмой атмосферного давления. Предназначен для разработки новых технологий очистки воздуха от токсичных примесей, конверсии летучих углеводородов, для разработки технологий поверхностной обработки материалов с целью придания им ценных потребительских свойств. (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – к.х.н. Филатов И.Е.)

17. Установка для электродинамической генерации мощных плазменных потоков с высоким удельным механическим импульсом (скорости частиц до 80-200 км/с). Достоинством разработки является использование жидкого рабочего тела, что существенно упрощает механическую конструкцию системы подачи, возможность более полного использования запаса рабочего тела и создаёт возможности гибкого регулирования секундного импульса тяги. (ИЭФ УрО РАН, руководитель работ – к.ф.-м.н. Емлин Р.В.)

Компактные генераторы РАДАН© с расширенными функциональными возможностями и устройства формирования потоков направленной энергии на их основе

Малогабаритные электрофизические установки с большой импульсной мощностью, созданные в ИЭФ УрО РАН, давно и успешно зарекомендовали себя при оперативном решении различных задач, где необходимы направленные потоки энергии высокой интенсивности в виде ультракоротких высоковольтных импульсов, сильноточных пучков частиц и электромагнитного излучения различных спектральных диапазонов. Созданная аппаратура используется в ведущих научных центрах и университетах 12 стран.

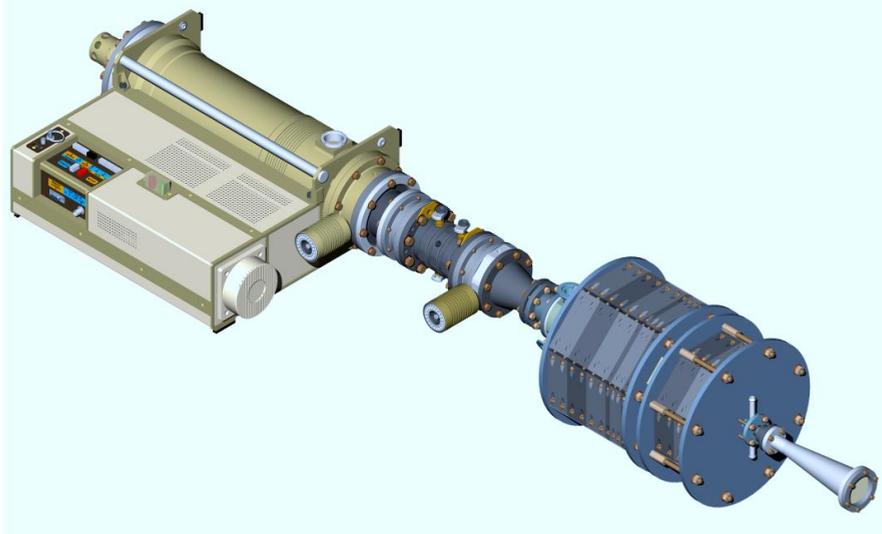


Рис. 1. Проект перспективного СВЧ - источника на основе импульсного генератора РАДАН

Цель работ - создание компактных электрофизических приборов семейства РАДАН© нового поколения, адаптированных для широкого круга мультидисциплинарных фундаментальных исследований.

Перспективные задачи и параметры:

- Совершенствование высоковольтной и сильноточной ускорительной техники (стабилизация, прецизионная синхронизация, управление) для приоритетных экспериментов с пикосекундным разрешением.
- Генерирование методами вакуумной электроники сверхмощных (~ 1 ГВт и более) коротких импульсов микроволнового сверхизлучения; применение таких импульсов для получения высокоградиентного ускорения заряженных частиц с темпом >100 МэВ/м.
- Когерентное суммирование автогенераторов СВЧ, для достижения плотности потоков энергии, эквивалентных источникам мульти-гигаваттного класса. Изучение электрической прочности различных сред и структур, канализирующих излучение.
- Исследования электрофизических процессов в сильных электрических полях и увеличение роста тока с взрывоэмиссионных катодов от десятков до сотни килоампер в наносекунду, что соответствует характеристикам больших установок тераваттного (мегаамперного) класса.
- Дальнейшее развитие исследований нетеплового воздействия ультракоротких интенсивных электромагнитных полей и потоков частиц на плазменные среды, различные биологические объекты и цифровые устройства.
- Моделирование новых формирователей ультракоротких высоковольтных импульсов с применением систем твердотельной электроники - ударных гироманнитных линий для получения рекордных темпов нарастания напряжения (>10 МВ/нс) и мощности (>100 ГВт/нс).
- Применение сильноточной аппаратуры в смежных областях исследований (химии, биологии, медицине).

Полупроводниковый генератор с экстремально высокой пиковой мощностью



Рис. 2. Генератор S-500.
Размеры корпуса 4.8 x 1.4 x 1.1 м³

Институт электрофизики УрО РАН специализируется в разработке твердотельных наносекундных генераторов частотного режима работы. К настоящему времени разработана серия полупроводниковых генераторов с рекордными значениями выходного напряжения – до 1 МВ – и импульсной мощности – до 6 ГВт в наносекундном диапазоне и до 30 ГВт в субнаносекундном диапазоне длительности импульса. Благодаря твердотельной системе коммутации энергии генераторы характеризуются высокой частотой следования импульсов, долговечностью и высокой стабильностью амплитуды и формы выходных импульсов. Именно эти качества необходимы для разработки новых технологий на базе таких генераторов.

Накопленный опыт позволяет разработчикам Института реализовать проект по созданию нового сверхмощного полупроводникового SOS-генератора с пиковой мощностью до 25 ГВт и до 100 ГВт в режиме его усиления гиромагнитными линиями. Актуальность разработки продиктована открывающимися новыми возможностями в области проведения исследований процессов пробоя в диэлектриках и полупроводниках при экстремально высоких электрических полях, создания уникальных генераторов мощных пучков электронов и импульсов рентгеновского излучения, создания новых сверхмощных устройств СВЧ электроники.

Параметры проектируемого генератора: импеданс нагрузки - 40–125 Ом, амплитуда импульса напряжения - 1–2 МВ, длительность импульса ~10 нс, частота следования импульсов в пачке - до 1 кГц, пиковая мощность ~25 ГВт, пиковая мощность в режиме работы с нелинейной формирующей линией ~100 ГВт.

Установка магнитно-импульсного прессования в сопровождении СВС

Цель работ - научная разработка технологии получения конструкционных материалов, основанной на совместном применении двух известных методов: самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и магнитно-импульсного прессования (МИП).

Прессование порошков при высоких температурах, на уровне 0,7-0,9 от температуры плавления, дает существенный выигрыш в снижении давления прессования и позволяет совместить уплотнение со стадией спекания. К таким способам получения материала относятся, например, хорошо зарекомендовавшие себя метод горячего

прессования и метод плазменного искрового спекания (Spark Plasma Sintering). Нагрев порошка в обоих случаях осуществляется от внешнего источника.



Рис. 3. Прототип установки

Идея использовать для процессов прессования и спекания тепло, выделяющееся при СВС, реализована в процессах квазистатического прессования и прессования взрывом. В первом случае исходная порошковая смесь поджигается, прикладывается одноосное давление, и в процессе движения волны горения происходит уплотнение горячих продуктов реакции. Во втором случае при горении взрывчатого вещества происходит одновременно поджиг порошковой смеси и ее ударно-волновое уплотнение. В предлагаемой разработке впервые будет реализовано магнитно-импульсное прессование реакционных смесей с варьируемой задержкой между моментами начала поджига и начала прессования.

Характеристики устройства:

- Амплитуда импульсной силы: до 1000 кН;
- Длительность импульса силы: 100-500 мкс;
- Задержка между поджигом СВС смеси и импульсом прессования: 0 – 100 с;
- Энергоемкость накопителя: 70 кДж;
- Прессующее давление: до 2 ГПа;
- Дегазация порошка: 1-10 Па, 400 °С;
- Прессование в вакууме: 1-10 Па.

Установка для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами

Вакуумно-плазменными методами создают недоступные для традиционных способов условия, при которых становится возможным получение принципиально новых покрытий или значительное улучшение характеристик уже известных. Нанокристаллические покрытия, наносимые такими методами, обеспечивают повышение коррозионной стойкости, механической прочности, улучшение

оптических, электрофизических, бактерицидных свойств, биосовместимости разнообразных материалов.

Цель работы заключается в создании прототипа установки, обеспечивающей комбинированную обработку материалов, которая включает ионную очистку и активацию поверхности, плазменную химико-термическую модификацию, нанесение покрытий.

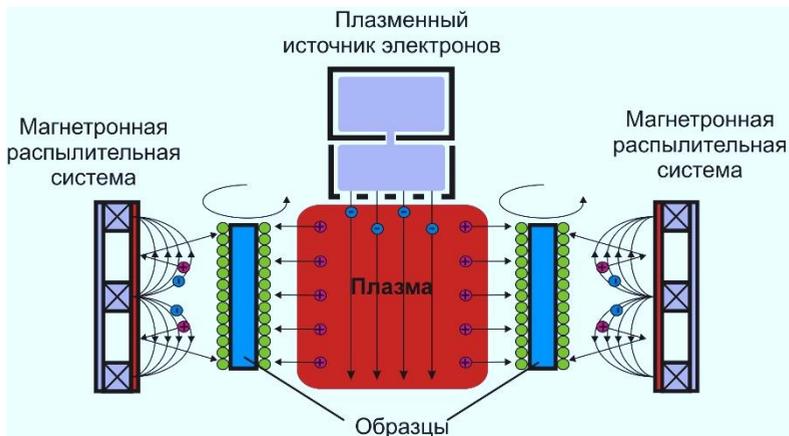


Рис. 4. Модуль для ионно-плазменной обработки и нанесения покрытий методами магнетронного распыления и активированного плазмой осаждения

Особенность установки заключается в использовании генератора пространственно-однородной плазмы на основе сильноточного несамостоятельного разряда. Такой генератор обеспечивает регулировку концентрации плазмы, степени диссоциации реакционных газов в камере нанесения покрытий и независимое изменение в широких пределах ключевых параметров процесса формирования покрытий. Использование генератора позволяет реализовать на базе одной установки метод осаждения покрытий из продуктов разложения углерод- и кремнийсодержащих молекулярных газов, интенсивное ионное воздействие на растущую поверхность покрытия при его нанесении методом магнетронного распыления, упрочнение поверхности материалов модификацией в плазме химически активных газов, проводить комплексную обработку в замкнутом технологическом цикле.

Для расширения возможностей установки в её состав будет включен модуль, обеспечивающий нанесение оксидных и нитридных покрытий со скоростями (~10 мкм/ч), значительно превышающими характерные для магнетронного распыления значения (как правило, не более 0,1 мкм/ч). В устройстве будет использован сильноточный разряд с испаряющимся анодом, в котором достигается высокая степень ионизации паров металла (до 80 %) и диссоциации реакционного газа, что в совокупности обеспечивает низкотемпературное нанесение нанокристаллических покрытий с требуемым структурно-фазовым состоянием.

Установка будет востребована предприятиями, специализирующимися на изготовлении и использовании металлообрабатывающего инструмента, заинтересованными во внедрении современных конкурентоспособных технологий модификации материалов, а также научно-исследовательскими институтами и университетами, специализирующимися на синтезе и исследованиях свойств перспективных наноструктурных материалов и их применении.

Импульсный малодозный компьютерный томограф

В настоящее время диагностику воспалительных процессов в головном мозге, онкологических и кардиологических заболеваний проводят с большой точностью методом компьютерной томографии (КТ), который в ряде случаев является практически уникальным. Однако, высокое субмиллиметровое пространственное разрешение, которое обеспечивается за счет многократного рентгеновского сканирования, приводит к повышенной дозовой нагрузке на пациента. Доза облучения может составлять более 10 мЗв в зависимости от органа обследования, при допустимой годовой дозе 1 мЗв. В настоящее время в КТ используются рентгеновские источники непрерывного действия, облучение происходит в течение всего времени сканирования, даже в те моменты, когда идет обработка и передача информации с детектора. Одним из способов снижения дозовой нагрузки является использование импульсного рентгеновского источника с наносекундной длительностью рентгеновских вспышек, способного работать на частотах порядка нескольких кГц, и синхронизация его с детектором излучения. В этом случае рентгеновское излучение генерируется только в моменты его накопления детектором. Также метод перспективен для исследования динамических объектов, например, сердца, поскольку имеется возможность генерировать зондирующий импульс в любой момент сердечного сокращения, синхронизируя запуск с УЗИ или пульсом.



Рис. 5. Острофокусные импульсные
отпаянные рентгеновские трубки
напряжением до 300 кВ

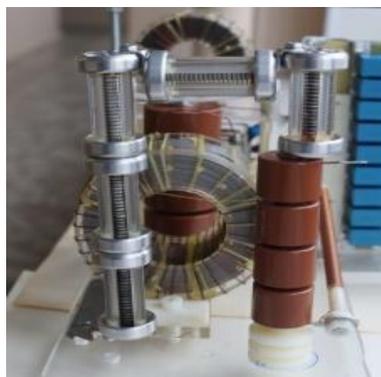


Рис. 6. Твердотельная система
формирования импульсов высокого
напряжения

Целью данной работы является создание малодозового компьютерного томографа, что должно способствовать переходу на новый уровень высокотехнологичного здоровьесбережения.

Длительность рентгеновской вспышки в несколько наносекунд при амплитуде тока в сотни ампер гарантирует высокую динамическую резкость изображения исследуемого органа, вне зависимости от фазы дыхания, сердцебиения и прочих физиологических процессов. Характерные особенности предлагаемого устройства в сравнении с традиционными рентгеновскими аппаратами постоянного тока и импульсными аппаратами с газоразрядными коммутаторными устройствами:

- отсутствие термоэмиссионных катодов - простота конструкции рентгеновской трубки (рис.5) и увеличение тока трубки до нескольких сотен ампер;
- применение взрывоэмиссионных катодов - снижение длительности рентгеновской вспышки до нескольких наносекунд, генерация импульсов мегаваттного уровня мощности;

- твердотельная система формирования импульсов высокого напряжения (рис.6)
- увеличение частоты генерации таких рентгеновских вспышек до нескольких килогерц;
- применение композитных вольфрамо-графитовых катодов – повышение средней мощности и уменьшение размеров эффективного фокусного пятна.

Компактная установка для радиационных технологий на базе УРТ-0.5М

Предлагается выполнить разработку унифицированной компактной излучающей установки для радиационных технологий на основе импульсно-периодического ускорителя электронов УРТ-0,5М.



Рис. 7. Импульсно-периодический ускоритель электронов УРТ-0,5М

Основные параметры:

- Энергия электронов до 0,5МэВ,
- Средняя мощность в пучке электронов до 3кВт,
- Частота работы до 300Гц,
- Размер пучка электронов до 500*500мм,
- Габариты: размещение на площади 2 кв. м.

Предполагаемые области применения:

- Обработка крови импульсным рентгеновским излучением поглощенной дозой до 50 Гр с целью инактивации Т-лимфоцитов (импортозамещение установок иностранного производства на новом техническом уровне, имеется патент РФ).
- Поверхностная дезинфекция куриных яиц на предприятиях промышленного птицеводства с целью исключения заражения потребителей и создания барьера для распространения внутрифабричной инфекции при закладке яйца на инкубацию (имеется патент РФ).
- Поверхностная модификация полимеров.

Импульсный катодлюминесцентный спектрограф

При облучении конденсированных сред сильноточными наносекундными пучками электронов возбуждается импульсная катодлюминесценция (ИКЛ). Причем высокая интенсивность ИКЛ может наблюдаться и для минералов, которые ранее считались не люминесцирующими, например серпентина. Даже при комнатной температуре образцов спектр импульсной катодлюминесценции хорошо структурирован и контрастен. Кинетика полос люминесценции характеризуется разгоранием и спадом, характерные времена которых зависят от дефектности кристаллов и содержания люминесцирующей примеси.

В спектре ИКЛ и ее кинетике заключена обширная информация о внутренней структуре вещества, которую можно использовать для решения многочисленных задач. Ранее нами было создано несколько вариантов экспериментальных образцов ИКЛ - спектрографов. Один из них показан на Рис.8. Подобные приборы необходимы для научных исследований в области физики и химии конденсированного состояния, в геологии и минералогии, в криминалистике. Поэтому актуальным является создание опытного образца прибора с возможностью тиражирования.



Рис. 8. ИКЛ - спектрограф

Предлагается разработка и изготовление настольного автоматизированного ИКЛ-спектрографа на оптический диапазон 200-850 нм с возможностью измерения кинетики полос люминесценции. Для возбуждения ИКЛ будет разработан и изготовлен ускоритель электронов, генерирующий пучок электронов длительностью 1,5-2 нс со средней энергией электронов 150 кэВ и током около 100 А/см².

Установка для производительного - до 1 кг/час - получения нанопорошков (Al-Mg, Ni-Fe Al₂O₃, CuO, NiO, ZrO₂, TiO₂, (MgAl)₂O₃)

В настоящее время, несмотря на активное развитие методов синтеза нанопорошков их предложение на рынке РФ является весьма ограниченным. Электрический взрыв проволоки (ЭВП) является одним из наиболее производительных физических методов получения нанопорошков. Существующие установки ЭВП (см. Рис.9), разработанные в ИЭФ УрО РАН могут использоваться для наработки небольших опытных партий нанопорошков с производительностью не более 200 г/час. В этой связи отдельной актуальной задачей является разработка установок ЭВП с более высокой производительностью. Целью работ является разработка установки электрического взрыва проволоки для получения нанопорошков металлов, сплавов и их химических соединений до 1 кг/час по нанопорошкам Fe, Ni, Cu со средним размером частиц 50-100 нм и потреблением энергии не более 50 кВт·час/кг.

Возможными путями увеличения производительности установок ЭВП являются: увеличение частоты взрывов, увеличение массы взрываемого металла. Существенное увеличение производительности потребует увеличение мощности генератора импульсных токов и разработку новой газовой системы установки.



Рис. 9. Установка ЭВП

В результате проведения работ будет разработана расчетная модель производительности, учитывающей параметры разрядного контура, эффективность использования потребляемой энергии, а также показатели качества синтезируемого порошка (дисперсность, степень агрегации). На основе расчетов будет изготовлен опытно-промышленный образец установки для получения нанопорошков.

Раскрытие тонковкрапленных минеральных комплексов гидроимпульсным методом

Перспективной областью использования наносекундных частотных высоковольтных генераторов является разрушение твердых тел с размерами частиц менее 100 мкм. На сегодняшний день накопились миллионы тонн подобного материала, остающегося в отвалах горно-обогатительных комбинатов. В этих частицах высока концентрация полезных ископаемых, но их дальнейшее извлечение традиционными методами либо экономически нецелесообразно, либо просто невозможно из-за проблем переработки. Оптимальная степень раскрытия включений тонковкрапленных минеральных комплексов достигается переизмельчением сырья более чем в три раза, что обуславливает большие энергозатраты на рудоподготовку. Механическое измельчение характеризуется случайным приложением нагрузки, откуда следует низкая селективность раскрытия включений и высокие затраты.

Для селективной дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсного минерального сырья целесообразно применение электрогидравлического и электроимпульсного методов. Снижение затрат на рудоподготовку достигается тем, что разрушение происходит не по случайным направлениям сжимающих усилий, а преимущественно по границам минеральных зерен, являющейся дефектной зоной с пониженными механическими свойствами. В результате селективного раскрытия сростков минералов обеспечивается доступ реагентов к тонковкрапленным минералам без излишнего переизмельчения руды.

Применяемые в настоящее время установки электроимпульсного и электрогидравлического измельчения электрическими разрядами микросекундной длительности не позволяют эффективно воздействовать на частицы размером менее 1 мм. Минимальный размер тела, которое возможно разрушить ударной волной,

возбуждаемой при электрическом разряде в жидкости, определяется произведением времени нарастания давления и скорости звука в этом теле. Для частиц размером сотни микрон необходимо формировать наносекундные импульсы воздействия.

Цель работ: создание наносекундных высоковольтных установок для подготовки минеральных руд к обогащению, переработка техногенных отвалов минеральных пород. Выполнение работы целесообразно проводить в сотрудничестве ИЭФ УрО РАН (разработка наносекундных генераторов высокого напряжения и разрядных реакторов), ИГД УрО РАН (лабораторные исследования минеральных проб), ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, (внедрение метода в существующие технологии).

Заключение

Проект соответствует приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ (20а), (20б), (20в), (20г), (20д), (21), а также направлениям №9, 13 фундаментальных исследований ПФНИ ГАН, что подчеркивает мультидисциплинарность, актуальность и многогранность заявляемой тематики. Головная организация – ИЭФ УрО РАН полностью обеспечена рабочими площадями, специально оборудованными для проведения работ. Имеется опытное производство и центр коллективного пользования (приборы 40 наименований). Все заявляемые работы являются оригинальными и опираются на многолетние фундаментальные исследования, проводимые в институте. Тесное сотрудничество с соисполнителями создает благоприятные условия для успешного выполнения проекта. Созданные установки предполагается применить в фундаментальных исследованиях, в медицине, промышленности и сельском хозяйстве.

Автор благодарит сотрудников ИЭФ УрО РАН и организаций соисполнителей проекта за предоставленные материалы к докладу.

А.А. Ремпель¹, А.Н. Дмитриев², Б.Р. Гельчинский³ Разработка технологии комплексной переработки сырья Урала и создание функциональных высокоэнтропийных материалов

В представленных материалах описываются два основных направления научных исследований, которые ИМЕТ УрО РАН предлагает включить в Комплексную программу развития УрО РАН. Выполнение исследований по обоим направлениям предполагает сотрудничество с другими институтами УрО РАН, которые перечислены перед описанием каждого из проектов.

Проект «Разработка Smart технологии переработки комплексных руд и техногенных отходов Урала»

Список участников: Институт металлургии УрО РАН – головной, Институт горного дела УрО РАН, Институт химии твердого тела УрО РАН, Институт

¹ Директор Института металлургии УрО РАН, член-корреспондент РАН

² Главный научный сотрудник Института металлургии УрО РАН, доктор технических наук

³ Главный научный сотрудник Института металлургии УрО РАН, доктор физико-математических наук

высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Институт минералогии УрО РАН, Институт химии Коми НЦ УрО РАН.

В рамках проекта предполагается создание научных основ энергоэффективной, зелёной, импортозамещающей технологии переработки комплексных руд Урала и техногенных отходов.

Актуальность проблемы. В настоящее время черная металлургия, особенно уральская, испытывает острый дефицит передельного железорудного сырья; сырья для производства пигментного диоксида титана, титановой губки; металлического лома и др. В то же время в недрах Урала имеются огромные запасы титаномагнетитовых (Качканарское, Медведевское, Копанское месторождения), лейкоксеновых (Ярегское месторождение), бурохромистых и силикатно-никелевых (Серовское месторождение), сидеритовых (Бакальское месторождение) руд, а также экологически опасных техногенных отходов – красных шламов. Поэтому создание экологически безопасных и ресурсосберегающих схем переработки руд этих месторождений с извлечением железа, кремния, титана, циркония, ниобия, галлия, скандия и иттрия является насущной проблемой Уральского региона. Экономика этих схем будет определяться глубиной и шириной извлечения железа и сопутствующих элементов, а также использованием отходов обогащения руд и производства материалов.

Использование компьютерных методов и наличие математических моделей различных стадий переработки сырья (переделов) позволяет оптимизировать разрабатываемые схемы по энергетическим и экономическим критериям. Разработанные методики оценки качественных характеристик железорудного сырья и их влияния на технико-экономические показатели отдельных переделов по схемам «металлизация – электроплавка» и «доменная печь – конвертер» позволяют на основании анализа представительных проб руд предварительно оценить возможность и целесообразность разработки каждого конкретного месторождения.

Наличие экспериментальной и опытно-промышленной базы, опытного кадрового потенциала, большого задела по разработке физико-химических основ технологий переработки указанных руд в отдельных узлах схемы цепи аппаратов предполагает уверенность в выполнении данного проекта.

Проект соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития РФ (СНТР) (Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642), пункт а «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта».

Проект соответствует направлению фундаментальных исследований ПФНИ ГАН: Физико-химические основы рационального природопользования и охраны окружающей среды на базе принципов «зеленой химии» и высокоэффективных каталитических систем, создание новых ресурсо- и энергосберегающих металлургических и химико-технологических процессов, включая углубленную переработку углеводородного и минерального сырья различных классов и техногенных отходов, а также новые технологии переработки облученного ядерного топлива и обращения с радиоактивными отходами.

Цель – создание научных основ энергоэффективной, зелёной, импортозамещающей технологии переработки комплексных руд Урала и техногенных отходов.

Задачи:

- уточнение запасов комплексных месторождений, разработка технологий их обогащения;

- исследование минералогического и фазового составов комплексного сырья по всем переделам;
- разработка технологических схем переработки полученных концентратов и техногенных отходов;
- разработка технологии извлечения кремния, титана, циркония, ниобия, галлия, скандия, иттрия из отходов (красных шламов);
- разработка научных основ ресурсосберегающих электрохимических технологий переработки комплексного сырья;
- разработка технологии извлечения кремния, титана и других элементов из руд Ярегского месторождения.

Имеющийся научный задел: Разработаны элементы технологии переработки высокотитанистых руд Южного Урала, серовских бурохромистых и силикатно-никелевых руд, байкальских сидеритовых руд, ярегских лейкоксеновых концентратов. Наличие экспериментальной и опытно-промышленной базы, опытного кадрового потенциала, большого задела по разработке физико-химических основ технологий переработки указанных руд в отдельных узлах схемы цепи аппаратов предполагает уверенность в выполнении данного проекта.

Таблица 1

Характеристика комплексных руд месторождений Урала и техногенных отходов

Месторождение, руды	Исходная руда, %		
	Fe	V ₂ O ₅	TiO ₂
Гусевогорское, титаномагнетиты	16,6	0,13	1,23
Качканарское, титаномагнетиты	16,6	0,14	1,24
Медведевское, ильмениты	24,0	0,25	7,0
Копанское, титаномагнетиты	36,7	0,45	9,4

Месторождение, руды	Исходная руда, %		
	Fe	Ni	SiO ₂
Серовское, бурохромистые и силикатно-никелевые	10-35,4	1,3	45,0

Материал	Fe _{общ}	FeO	CaO	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	Ппп
Красный шлам	28,36	5,88	21,32	9,24	4,14	12,35	0,60	0,90	10,30

Таблица 2

Содержание полезных элементов в месторождениях

Месторождение	Балансовые запасы, млн т	Содержание Fe, млн т	Примечание
Гусевогорское	1 264,2	214,5	15,55 млн т TiO ₂
Качканарское	3 602,6	598,0	44,67 млн т TiO ₂
Медведевское	427,9	102,7	30,2 млн т TiO ₂
Копанское	850,0	311,9	80,0 млн т TiO ₂
Серовское	913,0	207,2	11,8 млн т Ni, Cr
Бакальское	996,0	318,7	Чистые по S и P
Ярегское	640,0	-	57,6 млн т TiO ₂ (+цирконий, ниобий, галлий, скандий, иттрий и др.)

Обесщелоченные красные шламы могут быть использованы в качестве железосодержащей добавки в агломерационную шихту Качканарского горно-обогатительного комбината, а также в качестве связующего в шихте для производства окатышей. В шламохранилищах БАЗа и УАЗа находятся 600 млн т красных шламов и дополнительно образуется 5-8 млн т/год.



Рис. 1. Предполагаемая схема переработки руд на примере Медведевского месторождения

План работ.

1 этап – строительство карьера добычи титано-ильменитовых россыпей на базе мобильного обогатительного комплекса производительностью 50 000 т ильменитового концентрата в год. Строительство рудно-термической печи на Златоустовском металлургическом заводе мощностью 33 МВА с освоением технологии переработки на титанистый шлак и металл для загрузки действующих мощностей.

2 этап – строительство горно-обогатительного комплекса (ГОК) на базе Медведевского месторождения, включающего фабрику окускования (брикеты, окатыши).

3 этап – строительство комплекса химического передела титанистого шлака на пигментный диоксид титана в условиях города Златоуст.

Ожидаемые результаты. Разработка импортозамещающей малоотходной технологии переработки титаносодержащих руд Уральского региона с извлечением железа, титана, ванадия и получением стальной металлопродукции, титановой губки, пигментного диоксида титана, феррованадия, ванадийсодержащих легирующих материалов, пентоксида ванадия. В результате создания технологии будет получена продукция, не уступающая по качеству импортным материалам (пигментный TiO_2), а также предложены эффективные схемы переработки комплексных месторождений от стадии обогащения до получения чугуна, стали и пигмента.

Кадровый потенциал. В состав исполнителей входят как академики и члены-корреспонденты РАН, доктора наук, так и молодые ученые до 35 лет, кандидаты наук; а также лауреаты различных государственных премий.

Таблица 3

Качество пигмента

№	Наименование сырья	Белизна, усл. ед.	Разбеливающая способность, усл. ед.	Укрывистость, г/м ²	Коэффициент отражения
1	Ярегский лейкоксен (промышленные испытания)	96,0-96,8	1750-1820	32,0	95,0-96,5
2	Лейкоксен + перовскит	92-96	не опр.	не опр.	не опр.
3	Медведевский концентрат	96,4	1700-1750	не опр.	не опр.

Таблица 4

Продукция и технико-экономические показатели переработки руд

Месторождение	Продукция, тыс. т/год	Капитальные вложения, млн. \$	Срок окупаемости, лет
Ярегское	Пигмент – 83,4 НаноTiO ₂ – 4 Диоксид кремния – 30 Рутиловый концентрат – 12	909	7,9
Медведевское (1 вариант)	Пигмент – 7,5	12,8	4,7
Медведевское (2 вариант)	Пигмент – 50 Концентрат железованадиевый – 232 Прокат – 1113	971	5,1
Копанское	Пигмент – 50 Чугун – 900	780	5,6

Имеющееся оборудование. Использование компьютерных методов и наличие математических моделей различных стадий переработки сырья (переделов) позволяет оптимизировать разрабатываемые схемы по энергетическим и экономическим критериям. Разработанные методики оценки качественных характеристик железорудного сырья и их влияния на технико-экономические показатели отдельных переделов по схемам «металлизация – электроплавка» и «доменная печь – конвертер» позволяют на основании анализа представительных проб руд предварительно оценить возможность и целесообразность разработки каждого конкретного месторождения. Установки по определению металлургических характеристик сырья (восстановимость, прочность после восстановления, температуры начала и конца размягчения), установки по исследованию фазового и минералогического составов, измельчители, дробилки, сухая и мокрая магнитная сепарации, лабораторные печи для нагрева и отжига, плавки (до 1700 °С), программное обеспечение.

Потребность в оборудовании. Необходимо обновить экспериментальную базу (в частности, для изучения минералогии, физико-химических и металлургических характеристик сырья) и их программное обеспечение, а также лабораторные и опытно-

промышленные установки для моделирования пиро- и гидрометаллургических процессов вновь разрабатываемых технологий.

Проект «Высокоэнтропийные сплавы для инновационных промышленных технологий»

Список участников: Институт металлургии УрО РАН – головной, Институт физики металлов УрО РАН, Институт электрофизики УрО РАН, Институт машиноведения УрО РАН.

Фундаментальной и практически важной задачей является разработка и исследование многокомпонентных, в том числе и так называемых высокоэнтропийных сплавов (ВЭС), которые составляют принципиально новый класс полиметаллических сплавов с уникальными конструкционными и функциональными характеристиками. Установлено, что данным ВЭС, по сравнению с существующими, присущи твердость и стойкость по отношению к разупрочнению при повышенных температурах, положительный температурный коэффициент упрочнения и высокие жаропрочные свойства, износостойкость, коррозионная стойкость и ряд других привлекательных эксплуатационных характеристик.

Актуальность исследования вызвана востребованностью данных материалов в технике и ориентированность на прямое и разнообразное инновационное применение их необычных свойств. К настоящему времени получено и комплексно исследовано лишь некоторое количество сплавов на основе алюминия, хрома, железа, кобальта, никеля, меди, титана и других элементов. Задачи решения проблем выплавки, термической, термомеханической, термохимической и других обработок, а также всестороннего изучения данных материалов составляют важное прорывное направление исследований в рамках указанной проблемы. Последние два десятилетия это направление является одним из мощно развивающихся в ведущих странах мира (США, ЕС, Китай, Япония).

Публикационная активность по данной тематике из года в год резко увеличивается, а начиная с 2015 г. ежегодно практически удваивается, что подчёркивает перспективность направления.

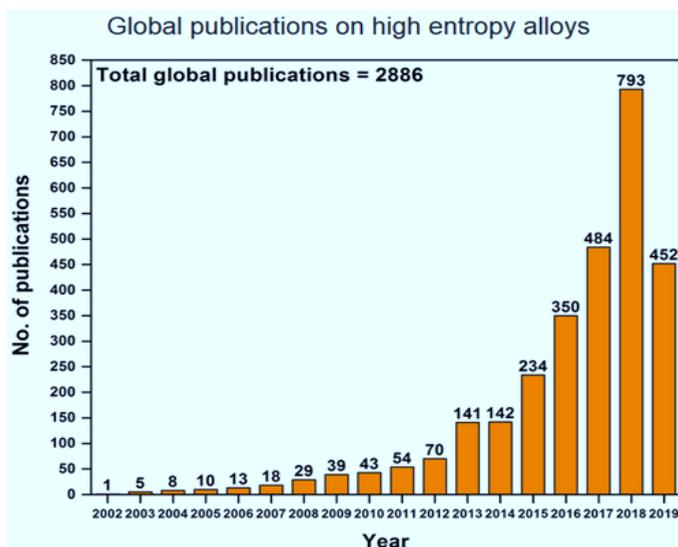


Рис. 2. Количество публикаций по ВЭС с 2003 по 2019 гг.

Современное состояние исследований в данной области науки.

Быстро растущие потребности промышленности стимулируют создание новых конструкционных и функциональных материалов на основе сложнолегированных сталей и сплавов. В настоящее время некоторые марки сталей и сплавов, прежде всего, нержавеющей, жаропрочных, высокопрочных, уже содержат 4-5 контролируемых легирующих элементов массой до 30-40%, высокопрочные алюминиевые сплавы – 3-4 элемента по массе до 10-15%, латуни и бронзы – до 40 и 15%, соответственно. В интерметаллидах, составляющих широкий класс атомноупорядоченных соединений исходных металлических элементов, напротив, используется 2-3 сплавообразующих металла, но в большой концентрации: 25-75% в соединениях типа АЗВ, до 50% в соединениях типа АВ или А2ВС. Интерметаллиды имеют особые функциональные свойства: сверхпроводимость (Nb_3Sn , V_3Ga), магнетизм (соединения Fe, Ni, Co), жаростойкость (NiAl, CoAl, CoNiAl), жаропрочность (Ni_3Al , Ti_3Al , TiAl), эффекты памяти формы, термически, деформационно или магнитно - управляемые (TiNi, Ni_2MnGa и др.).

Новое направление в материаловедении, которое возникло в последние 10-15 лет определили работы по созданию и комплексному исследованию так называемых высокоэнтропийных полиметаллических сплавов, включающих 5-6 основных элементов, в концентрации от 5 до 35%. В качестве первых кандидатов для таких материалов были выбраны сплавы системы AlCoCrCuFeNi. В настоящее время приняты несколько определений данных материалов, отражающие различные особенности формирования структурного состояния: высокоэнтропийные сплавы (ВЭС), мультикомпонентные сплавы (МКС), комплексные концентрированные сплавы (ККС). Подобные материалы наряду с характеристиками, типичными для металлических сплавов, имеют уникальные и необычные свойства, присущие, например, металлокерамикам: высокую твердость и стойкость по отношению к разупрочнению при высоких температурах, дисперсионное твердение, положительный температурный коэффициент упрочнения и высокий уровень прочностных характеристик при повышенных температурах, привлекательную износостойкость, коррозионную стойкость. Кроме того, ВЭС являются привлекательными как перспективные функциональные материалы с высокими магнитными и физико-химическими свойствами, гигантскими эффектами памяти формы и псевдоупругости.

В настоящее время исследовано более 150 композиций высокоэнтропийных сплавов, определена их структура и некоторые свойства (в основном механические). Однако систематические исследования физико-химических и эксплуатационных свойств ВЭС в широком температурном диапазоне еще не выполнены, что является перспективной научной и практической задачей.

Имеющийся задел.

В настоящее время для предсказания типов возможных фаз и анализа тенденций в образовании ВЭС широко используются эмпирические обобщения, термодинамическое моделирование и атомистические методы (первопринципные расчеты, молекулярная динамика). Термодинамическое моделирование с помощью методов CALPHAD, ThermoCalc, CompuTherm LLC и др. внесло существенный вклад в развитие представлений о ВЭС и позволило определить широкий набор потенциально возможных ВЭС. Однако надежность предсказаний, получаемых в рамках полуэмпирических термодинамических методов, существенно падает при использовании далеких экстраполяций за пределы исследованных областей. Поэтому большое значение приобретает использование первопринципных расчетов для определения энтальпии сплавов и верификации термодинамических предсказаний.

Наша группа имеет большой опыт в проведении подобных первопринципных расчетов для двойных, тройных и многокомпонентных в том числе ВЭС систем.

Имеющийся научный и технологический задел включает, во-первых, разработку алюминиевых сплавов с разным соотношением двух переходных металлов (Ti, Zr, Y, Hf, Sc, Nb), обеспечивающих получение высокой объемной доли дисперсных алюминидов с минимальным кристаллографическим и размерным несоответствием их решеток со структурой альфа-алюминия, что приводит к высокому упрочнению и термической устойчивости сплава. Во-вторых, разработку сплавов на основе триалюминидов с двумя переходными металлами, в которых алюминий частично замещается медью, с целью получения сплавов с высокой термической стойкостью для работы в экстремальных условиях.

У коллектива имеется опыт исследования высокоэнтропийных сплавов на базе d-переходных элементов. Например, экспериментально изучены структура и комплекс свойств, а также установлены температуры и тип фазовых переходов для эквиатомных сплавов AlCoCrFeNi и AlCoCrMnFeNi, подвергнутых различной термо-временной обработке. Установлено, что способ синтеза критическим образом влияет на структуру и свойства данных материалов. Кроме того, в коллективе имеется опыт исследования магнетокалорических характеристик для некоторых сложных редкоземельных соединений.

Проведены исследование нового класса ВЭС, представляющих собой твердые растворы компонентов, распределенных по подрешеткам какого-либо интерметаллида, обладающего свойствами. Такие системы сочетают в себе уникальные свойства исходного соединения и энтропийные эффекты ВЭС, что позволит разрабатывать новые материалы с уникальными эксплуатационными свойствами. Например, сплавы (Cu,Ni)(Zr,Ti,Hf) могут сочетать в себе свойства системы Cu50Zr50 обладающей высокой аморфизирующей способностью и эффектами памяти формы. Сочетание указанных свойств и возможности формирования ВЭС может привести к созданию новых материалов с улучшенными механическими и коррозионностойкими свойствами.

При получении ВЭС наиболее распространённым является метод литья в комбинации с разновидностями метода плавления — дугового, индукционного, электродугового, причем для достижения гомогенизации (повышения химической и структурной однородности), получаемый сплав многократно (не менее пяти раз) переплавляют. В связи с этим, нами разработан метод низкочастотной и мультивибрационной обработки расплавов, который за счет турбулентного перемешивания и осциллирующего давления обеспечивает быструю растворимость компонентов и гомогенизацию расплава. Предлагаемый метод низкочастотной обработки может изменить энтропию и энтальпию смешения многокомпонентного расплава так, что синтезируются ВЭС, которые невозможно создать обычным способом или при достаточно низкой температуре.

Основные направления исследования и практического применения:

- *Защитные покрытия для биомедицинского применения.*

Защитные покрытия для биомедицинского применения должны обладать низким модулем эластичности, высокой химической стабильностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью в физиологических средах, низким коэффициентом трения, биологической совместимостью и отличной адгезией к поверхности, на которую осаждаются защитные покрытия. Такими свойствами обладают нитриды и карбиды высокоэнтропийных сплавов.

- *Радиационностойкие материалы.*

ВЭС обладают высокой стойкостью к радиационному облучению и могут применяться в ядерной энергетике, а также как материалы для водородной энергетики (для накопления и хранения водорода).

- *Многокомпонентные жаропрочные, жаростойкие и коррозионностойкие материалы.*

Высокая прочность при повышенной температуре и стойкость к окислению делает ВЭС привлекательными для использования в качестве тугоплавких жаропрочных материалов. Перспективным является использование ВЭС в качестве тепловых барьеров для лопаток газовых турбин сверхзвуковых самолетов, где необходимо обеспечить рабочую температуру до 1500°C, предел текучести выше 400 МПа и хорошее сопротивление окислению. Исследование сплавов NbMoW-Ta и VNbMoW-Ta показало, что в интервале температур $T = 800\text{--}1600\text{ }^\circ\text{C}$, предел текучести меняется от 900 до 500 МПа, что значительно выше, чем у применяемых сейчас сплавов, работающих только до 800 °C (см. рис. 3).

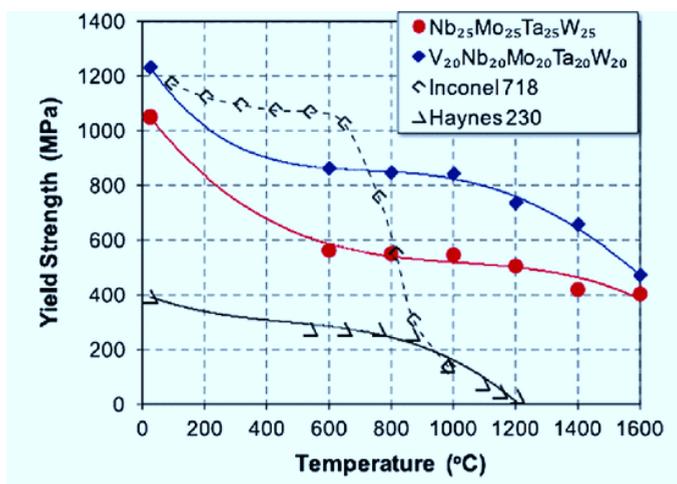


Рис. 3. Температурная зависимость предела текучести ВЭС NbMoTaW и VNbMoTaW, в сравнении со сталями Inconel 718 и Haynes 230.

[Senkov O.N., et.al. Mechanical properties of Nb₂₅Mo₂₅Ta₂₅W₂₅ and 20Nb₂₀Mo₂₀Ta₂₀W₂₀ refractory high entropy alloys// Intermetallics.2011; v.19, p. 698–706].

ВЭС обладают превосходной коррозионной стойкостью и могут быть использованы в качестве антикоррозионных высокопрочных материалов на химических заводах. Они могут использоваться в качестве трубопроводов, деталей насосов и корпусных материалов судов, эксплуатируемых в морской воде, в том числе в Арктике. Сплав CoCrFeNiTi показывает высокое сопротивление абразивному изнашиванию и высокую коррозионную стойкость. Он может применяться в тяжелых эксплуатационных условиях, в качестве деталей для подземных электрических насосов, используемых при эксплуатации нефтяной скважины. Из-за своей высокой температурной прочности и стойкости к окислению этот сплав может быть использован в качестве деталей, таких как высокотемпературные держатели в разрывных машинах до 1000°C, при этом высокотемпературная твердость остается высокой (250 HV), что выше, чем у большинства коммерческих жаропрочных сплавов, которые имеют такую твердость уже при достижении 800 °C.

- *Высокопрочные, пластичные и износостойкие многокомпонентные стали и сплавы, в том числе покрытия.*

Будут разработаны сплавы с памятью формы, способные работать при высоких температурах, для нужд авиационной, космической и автомобильной промышленности. Композитные конструкционные материалы с высокой пластичностью и способностью к нагартовке (work hardening). ВЭС могут применяться в инструментальной и станкостроительной промышленности (имеют низкий коэффициент трения, стойки к износу, оптимальное соотношение прочности и пластичности) и в качестве коррозионно-стойких поверхностных слоев, материалов с высокой усталостной стойкостью, в материалах с низкой плотностью (в аэрокосмической промышленности). Будут разработаны ВЭС, физико-механические свойства которых превзойдут таковые для выпускаемых сейчас никелевых суперсплавов:

- плотность $\rho < 8,0$ г/см³; - предел прочности σ_B при 1100 °С – 45-50 кгс/мм²;
- удлинение при разрыве (δ) – 15-20 %; - жаропрочность σ_{100}^{1000} – 200-250 МПа;
- рабочая температура > 1000 °С.

Наиболее эффективный способ практического применения ВЭС – нанесение разного рода защитных покрытий, обладающих комплексом очень хороших эксплуатационных свойств. Развитие технологий нанесения покрытий будет способствовать дальнейшему расширению применения ВЭС в качестве функциональных покрытий. Для высокоэнтропийных покрытий, полученных напылением в вакууме, характерны высокие значения твердости (8,0-9,0 ГПа) и термостабильности в области температур до 1000 °С. Высокоэнтропийные однофазные нитридные покрытия (напыление в атмосфере азота) на основе пяти нитридообразующих элементов характеризуются высокими значениями твердости (50-60 ГПа) и модуля упругости (более 600 ГПа). Установлено, что высокоэнтропийные однофазные нитридные покрытия являются достаточно термостабильными до температур отжига 1100 °С. Покрытия на основе этих ВЭС обладают высокой адгезионной прочностью на отрыв. Испытуемые образцы на отрыв разрушались только по поверхности между покрытием и бойком. Разрушения между покрытием и основой не наблюдалось. Прочность покрытия на отрыв была примерно 50 МПа.

- *Новые многокомпонентные магнитомягкие и магнитожесткие материалы.*

При конструировании электродвигателей на постоянных магнитах в настоящее время большое внимание уделяется увеличению скорости вращения ротора вплоть до сотен тысяч оборотов в минуту, что позволяет увеличить удельную мощность и КПД. Наиболее привлекательным является использование прочных и пластичных магнитотвердых материалов основе системы Fe-Cr-Co. На основе ВЭС уже разработаны магнитотвердые сплавы Fe-Cr-Co-W-Ga с пониженным содержанием Cr и Co, в которых механизм формирования высококоэрцитивного состояния связан с задержкой смещения доменных границ на парамагнитных выделениях дисперсной фазы богатой вольфрамом. Дальнейшие исследования этих сплавов позволят разработать материалы, которые могут быть использованы в качестве эффективных рабочих тел в высокоскоростных гистерезисных двигателях, что позволит увеличить их удельную мощность и КПД в 2–3 раза. Разработка новых магнитомягких аморфных материалов для нужд микро- и нанoeлектроники.

Использование редкоземельных ВЭС в качестве магнитных материалов для холодильных установок (рефрижераторов), работающих на принципе магнитного охлаждения за счет магнетокалорического эффекта, позволяет достичь КПД таких устройств до 60 % (у выпускаемых в настоящее время газовых холодильников КПД не превышает 10-15 %).

В.И. Ладьянов¹

Междисциплинарный научный центр металлургической физики и материаловедения УдмФИЦ УрО РАН: от фундаментально-ориентированных исследований до инновационных перспективных технологий

В любой промышленной системе, а в инновационной в особенности (тем более, в оборонно-промышленном комплексе), проблемы материаловедения играли и играют, по-прежнему, системообразующую роль и являются основой развития наукоемких технологий. Современное материаловедение является классическим примером междисциплинарного научного направления на стыке различных наук, прежде всего физики, химии, физической химии и металлургии. Это наглядно проявляется, в частности, в Программе фундаментальных исследований РАН, где материаловедение находится в следующих различных разделах:

II. Физические науки:

Направление 8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред.

Направление 9. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры.

V. Химические науки и науки о материалах:

Направление 44. Фундаментальные основы химии.

Направление 45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

Базовое значение материаловедения отражено также в документах на государственном уровне:

1. «Стратегия научно-технологического развития РФ на долгосрочный период».

2. «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ» (2. ...Индустрия наносистем).

3. «Критические технологии РФ» (16. Технология получения и обработки конструкционных материалов; 17. Технология получения и обработки функциональных материалов).

4. «Технологическая платформа РФ» («Технология металлургии и новые материалы»).

Оценка существующих внутренних и внешних вызовов

Современные угрозы развитию фундаментальной науки в России носят системный характер, поэтому нельзя рассчитывать на их быстрое устранение. Они связаны, в частности, с недооценкой научно-технического и инновационного потенциала как ключевых ресурсов, обеспечивающих рост экономики, повышение конкурентной способности производства и рост благосостояния населения.

Следствием этого является недостаточность мер государственной поддержки и стимулирования научно-исследовательской и инновационной деятельности, хроническое недофинансирование фундаментальной науки, снижение престижа профессии научного работника.

Серьезной проблемой государственного сектора науки является также её затянувшаяся реорганизация, не имеющая системного характера и соответствующего алгоритма действий в этих условиях.

Сохраняется отставание отечественной науки от зарубежной по её обеспечению современным исследовательским и технологическим оборудованием.

¹ Руководитель научного центра металлургической физики и материаловедения УдмФИЦ УрО РАН, доктор физико-математических наук

Ключевые проблемы реформирования академического сектора фундаментальной науки:

1. В рамках различных Программ РАН формально исследования в своем подавляющем большинстве являются междисциплинарными. Однако лишь малая часть из них действительно выполняется совместно с учеными из разных областей науки. Кроме того, изменение направления исследования предполагает появление новых подразделений, что на практике затруднено «потолком» базового бюджетного финансирования. Как правило, базовое финансирование научной организации не меняется от пересмотра её научной тематики.

2. Востребованность результатов исследования со стороны других научных организаций или реального сектора экономики является критически низкой.

3. Темы исследований, инициируемые снизу научными организациями, программно и проектно плохо сопряжены между собой и не обеспечивают комплексного решения перспективных наукоемких инновационных технологий. Организация исследований в большинстве случаев не имеет системных интеграторов, которые обеспечивали бы совместную «сборку» проводимых фундаментальных, фундаментально-ориентированных и поисковых работ.

4. Обратной стороной такого подхода является консервация сложившихся научных тематических направлений. При этом формирование междисциплинарных проектов, предусматривающее объединение интеллектуальных ресурсов и научной инфраструктуры, плохо согласуется со сложившейся системой координации деятельности научных подразделений и оценки её результатов.

5. Базовым недостатком сложившейся системы управления наукой является также отсутствие целеполагания в планировании НИР и в достижении результатов высокого уровня, которые перестают напрямую зависеть от интересов государства.

6. Работа по формированию приоритетов научных исследований фактически закрепляет сложившуюся модель организации исследований «снизу-вверх».

7. Накопленные за длительный период противоречия и проблемы обуславливают низкий уровень производительности труда исследователей. По отдельным экспертным оценкам производительность труда в РФ составляет не более 45% среднего уровня в странах Европы.

В общем виде отмеченные проблемы представлены на рис. 1.



Рис. 1. Проблемы НИР и их решения через научно-технологические пакеты

Эти проблемы были также отмечены Президентом России В.В. Путиным: «Надо раз и навсегда отказаться от практики размазывания бюджетных ресурсов тонким слоем между исследователями организации. Деньги должны выделяться эффективным коллективам на основе конкуренции, конкурсного отбора с тем, чтобы мы рассчитывали на получение нужного нам конкретного результата» (Путин В.В., Совет по НиТ, Проект научно-технологического развития России, 2016).

Академик П.Л. Капица отмечал: «Свое место в стране должны создать себе сами ученые, а не ждать, пока кто-то придет и все сделает за них».

Особенности региональной научной и образовательной структуры в Удмуртской республике:

1. Подавляющая доля предприятий аэрокосмического назначения и машиностроения оборонно-промышленного комплекса.
2. Потеря в значительной мере контактов предприятий с центральными отраслевыми НИИ.
3. Практическое отсутствие региональных отраслевых институтов.
4. Недостаточно высокий уровень образовательной подготовки бакалавров и магистров естественнонаучного профиля в Удмуртском государственном университете и Ижевском государственном техническом университете и отсутствие у них заинтересованности в научной работе в академических институтах.
5. Потеря кадров и традиций в заводском секторе науки ввиду многолетнего отсутствия заказов и финансирования.
6. Отсутствие возможностей существенного финансирования прикладных исследований со стороны региона.

Проблемы реформирования внутри Удмуртского федерального исследовательского центра:

1. Внутри структурных подразделений, по крайней мере, в Физико-техническом институте, существуют устойчивые внутренние взаимосвязи, сложившаяся многолетняя тематика НИР.
2. Взаимодействие между подразделениями имеет, в большой степени, характер использования материально-технической базы фактически в формате Центра коллективного пользования и слабовыраженное научное взаимодействие.
3. Переход к новым научным направлениям, особенно междисциплинарным, практически невозможен: реально нет необходимого финансирования, кадрового обеспечения, необходимой исследовательской и технологической инфраструктуры.

С учетом этих соображений и существующих научных направлений является целесообразным в рамках Программы развития Удмуртского ФИЦ создание в его составе нового структурного подразделения – **Научного центра металлургической физики и материаловедения** на базе существующего Отдела структурно-фазовых превращений Физико-технического института и близких по научной тематике материаловедческих групп Института механики. В этом случае создание НЦ МФМ может рассматриваться как пилотный проект в Программе развития Удмуртского ФИЦ в рамках научно-технологического пакета по материаловедению (рис. 1).

Основной подход в организации и планировании НИР в НЦ МФМ УдмФИЦ – проведение полных циклов исследований от генерации фундаментальных знаний до прикладных исследований по единому комплексному тематическому плану в области металлургической физики и технологий получения перспективных

металлических и композиционных функциональных материалов и покрытий с нано-, микро- и мезоструктурой. Составляющие такого подхода представлены на рис. 2.

На рис. 3 показаны базовые принципы структуризации НЦ МФМ УдмФИЦ.



Рис. 2. Особенности подхода к планированию НИР в НЦ МФМ УдмФИЦ



Рис. 3. Направления структурирования НЦ МФМ УдмФИЦ

Форматы реализации стратегических целей НЦ МФМ:

1. Выбор приоритетных научных направлений с учетом имеющегося научного задела, их развитие и поддержка.

2. Проведение фундаментальных, фундаментально-ориентированных и поисковых исследований с учетом Приоритетных направлений развития науки, технологии и техники РФ, Критических технологий РФ, Программ ФНИ государственной академии.

3. Баланс между фундаментальными исследованиями, которые являются главным вкладом в инновационный процесс, и прикладными исследованиями, которые собственно, создают инновационный продукт.
4. Кадровое обеспечение выбранных приоритетных направлений.
5. Многоканальность финансирования (г/б, РФФИ, РНФ, проекты РАН, федеральные программы, хоз. договора).
6. Обеспечение работы, укрепление и развитие экспериментального, исследовательского и технологического оборудования.

Интеграционный формат Научного центра металлургической физики и материаловедения в структуре Удмуртского федерального исследовательского центра представлен на рис. 4.



Рис. 4. Формат взаимодействия НЦ МФМ УдмФИЦ

Ожидаемые результаты пилотного проекта

Реализация проекта по созданию Научного центра металлургической физики и материаловедения в составе Удмуртского ФИЦ позволит:

- повысить эффективность и результативность научных исследований и разработок;
- повысить концентрацию финансовых и кадровых ресурсов на поддержку приоритетных научных направлений, ориентированных на развитие прорывных научных технологий;
- повысить эффективность реализации бюджетного и внебюджетного финансирования;
- создать новые заделы для перспективных НИР;
- сократить цепочку разработок от фундаментальных исследований до перспективных наукоемких технологий;
- уменьшить административный барьер от научного подразделения до аппарата управления Удмуртского федерального исследовательского центра.

М.Ю. Альес¹

Программа развития Удмуртского Федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН: цифровая и сетевая трансформация исследований

Исторически Академическая «ячейка» в Удмуртии была создана Постановлением ЦК КПСС и Президиума АН СССР в виде филиала Института физики металлов УрО РАН для решения «Ижевской машиностроительной проблемы».

Рыночные позиции машиностроительных предприятий Удмуртии:

- 73 % рынка гражданского оружия;
- 90 % рынка боевого оружия;
- 80 % рынка сверхпроводников;
- 30 % рынка беспилотных систем.

Обеспечивающие ключевые компетенции:

- высокоточное оружие, ракетные комплексы;
- новые материалы, нанокompозиты;
- системы управления машин, специальные станки и роботы, технологии быстрореагирующих производств;
- навигация, системы связи.

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (УдмФИЦ УрО РАН) создан 10.01.2018 г. в результате присоединения 4 институтов (ФТИ УрО РАН, ИМ УрО РАН, УИИЯЛ УрО РАН, НИИСХ), подведомственных ФАНО России и расположенных на территории Удмуртской Республики, к Федеральному государственному бюджетному учреждению науки Удмуртский научный центр Уральского отделения Российской академии наук.

Миссия

УдмФИЦ УрО РАН создан как системный элемент государственной научно-технической политики в интересах социально-экономического развития, обеспечения конкурентоспособности и безопасности Российской Федерации и Удмуртской Республики. Основная цель созданного УдмФИЦ УрО РАН концентрированно выражается в обеспечении опережающего научно-технологического развития, инфраструктур, технологий и компетенций, реализуемых на данной территории, продуктовых и научных технологий, влияющих на территорию и воздействующих на мировой рынок.

Деятельность

- Координация работы подведомственных организаций;
- Управление фундаментальными, фундаментально ориентированными научными исследованиями и прикладными работами;
- Подготовка научных кадров;
- Трансфер технологий двойного назначения;
- Инжиниринг;
- Акселерация высокотехнологического бизнеса;
- Прогностика перспективных технологий и систем высокотехнологичных рынков.

¹ Директор УдмФИЦ УрО РАН, доктор физико-математических наук

Центр превосходства в области:

- Моделирования и симулирования процессов в сложных системах и средах;
- Новых материалов;
- Аддитивных технологий;
- Биотехнологий;
- Изучения взаимодействия финно-угров, славян, тюрков в историческом ландшафте Северо-Восточной Евразии.

Базовые научные компетенции УдмФИЦ УрО РАН:

- Физика и механика гетерогенных сред, в том числе механика и физико-химия наноразмерных систем;
- Проблемы механики деформируемого твердого тела и триботехнологии материалов;
- Новые материалы, приборы и методы для их исследования.
- Физика и химия поверхности, электронная и локальная атомная структура поверхностных слоев и наноразмерных систем;
- Природа и свойства равновесных и неравновесных состояний, возникающих в материалах при тепловых, механических и радиационных воздействиях;
- Электромагнитные, акустические методы диагностики и локации пространственной структуры материалов и физико-механических систем и природных сред;
- История и культура народов Камско-Вятского региона в контексте общероссийских процессов с древности до современности;
- Историко-культурное наследие и духовно-интеллектуальный потенциал народов Удмуртии;
- Исследование, сохранение и использование биологического разнообразия растений в условиях интродукции в Удмуртской Республике;
- Земледелие, растениеводство, защита и биотехнология растений, экология, зоотехния, пчеловодство и ветеринарная медицина.

Образ будущего – НИР 2035

МИФЫ

- Технологическая сингулярность;
- Оцифровка деятельности;
- Новая промышленная революция;

УПРАВЛЕНИЕ

Ситуативные, рефлексивные и цифровые инструменты управления

ИНСТРУМЕНТЫ

- Онтологическое моделирование;
- Эксперимент;
- Искусственный интеллект.

ОРГАНИЗОВАННОСТИ

- Сетевые исследовательские сообщества;
- Научно-образовательные центры;
- DIY-наука.

ТЕХНОЛОГИИ

- Цифровой двойник материала;
- Программирование свойств материалов

РЫНКИ

Аддитивные производства и квантовое копирование

МЕСТА

- Городские среды;
- Арктика;
- Космос.

Наше видение проблем

- Разрывы между наукой и технологиями;
- Низкая связность естественных и гуманитарных наук;
- Затруднены обоснования выделения финансирования на исследования;
- Требуются новые формы управления научным познанием;
- Подготовка кадров и обеспечение притока молодежи;
- Проблема междисциплинарного дробления и связности научного знания.

Наше видение решений – это связанные в пакеты открытия (исследования) и технологии. Пакет включает в себя базовые и замыкающие разработки и технологии.

Шаг развития

Прошлое: Постановка и решение научных задач в отрыве от технологических барьеров. Прогнозирование отдельных технологий.

Будущее: Постановка задач НИР и прогнозирование развития научно-технологических пакетов.

Научно-технологический пакет

- Генетическая и функциональная связность открытий и технологий;
- Структурирует технологическую среду и взаимодействует с социальной средой;
- Представлен в виде технологического ядра высокой связности, и менее связной технологической периферией;
- Является предметом проектирования и прогнозирования исследований;
- Ядро включает в себя базовую, замыкающую технологию и онтологию, лежащую в основе пакета.

НТП представляет собой нечто большее, чем простую сумму технологий, поскольку обладает технологической синергией.



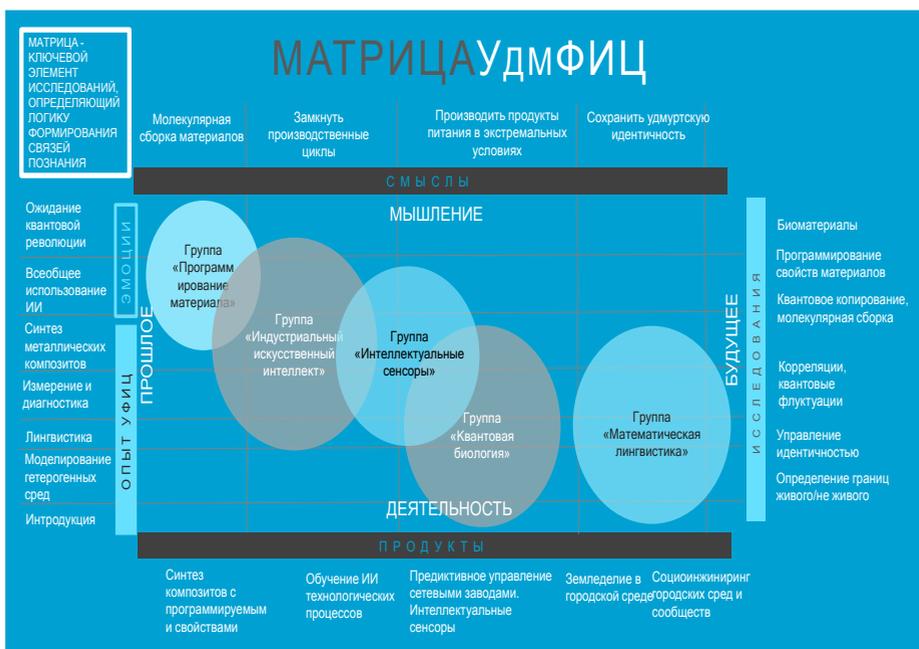
Суть манёвра УдмФИЦ УрО РАН

- Связать научно-технологические пакеты;
- Вывести качество экспериментов на мировой уровень;

- Применить искусственный интеллект (ИИ) в исследованиях;
- Оцифровать результаты НИР.

Цели 2023 (для нас это вызов)

- Войти в 1 категорию исследовательских организаций России;
- Внедрить ИИ в исследования. Обеспечить мировой уровень качества эксперимента;
- Стать цифровым исследовательским научным центром;
- Запустить поисковые исследования в квантовой биологии и математической лингвистике;
- Создать банк НИР. Архивировать, онтологизировать и пакетировать наработки;
- Создать систему поддержки принятия решений территориального развития Удмуртии;
- Связать, онтологизировать и спрогнозировать 4 научно-технологических пакета;
- 50% доля внебюджетных НИР;
- средний возраст ученых 39 лет;
- увеличить в 1,5 публикации в журналах q1.



6 Научно-технологических пакетов, в которые встроена деятельность УдмФИЦ УРО РАН

Пакет «цифровой двойник и программирование свойств материалов» (аддитивные технологии и переход от Big Data к Deep Data)

Исследования:

- Природа и механизм влияния неоднородностей жидкой фазы на микроуровне на формирование аморфного, объемноаморфного, квази- и нанокристаллического состояний в металлических системах на основе Al, Cu и 3d – переходных металлов (Fe, Co, Ni) при затвердевании;

- Исследование и деформационно-стимулированных структурно-фазовых превращений в «низкотемпературных» (на основе Al, Cu, Fe, Co, Ni) и «высокотемпературных» (на основе Nb, Ta, W, Mo) сплавах;
- Получение функциональных материалов и многослойных градиентных покрытий с помощью методов сверхбыстрой закалки, СВС, механосинтеза и синтеза из аморфного состояния, пластической деформации и аддитивных методов осаждения из газовой фазы (CVD);
- Моделирование динамики фазовых превращений, перераспределения диффузионно-подвижного и связанного водорода в системах на основе железа и титана (циркония), с оценкой влияния водорода на физико-химические свойства металлических систем в условиях высокоинтенсивных динамических нагрузок;
- Трибологические и адгезионные свойства интерметаллидных покрытий и покрытий «металл-легкий элемент», формируемых на поверхности конструкционных материалов ионно-лучевыми и лазерными методами.

Ожидаемые эффекты:

- Созданы инструменты программирования свойств металлических суперсплавов для передовых производственных технологий фабрик будущего;
- Создана технология синтеза металлических порошков с программируемыми свойствами для 3D технологий;
- Созданы композиционные материалы, модифицированные нанопорошками, для радиационной защиты в атомной энергетике, машиностроении и др.

Пакет «Искусственный интеллект. Предиктивное управление технологическими процессами» (глубокое обучение нейронных сетей для управления технологическими процессами предприятий ОПК)

Исследования:

- Исследование процессов функционирования и развития производственных киберсистем на основе искусственного интеллекта и разработка теоретических основ моделирования сложных организационно-технических систем на основе показателя конструктивно-технологической сложности машиностроительного изделия;
- Исследование влияния термдеформационных параметров на структуру и физико-механические свойства низкоуглеродистых конструкционных сталей с разработкой математических моделей теплового состояния высокотемпературных металлических заготовок;
- Создание новых функциональных материалов с многоуровневой наноструктурой и физико-химических основ технологий их получения;
- Получение новых наноструктурированных, нанокomпозиционных материалов, обладающих необходимым комплексом электрических, оптических, магнитных, электрохимических, механических и биологически-активных свойств. Развитие высокоэффективных методов их получения на основе механосинтеза, 3D технологий;
- Физико-химические аспекты СВС-синтеза для управления процессами формирования поверхностных легированных слоев при получении композиционных материалов с применением ЛГМ-технологий;
- Получение конструкционных композитов на основе алюминиевых сплавов ЛГМ, при объёмном армировании нитевидными волокнами алюмооксидов, минеральных волокон или монокристаллами муллита.

Ожидаемые эффекты:

Созданы рабочие онтологии и системы поддержки принятия решений на основе искусственного интеллекта для информационных систем управления синтезом новых материалов на «умных» фабриках.

Пакет «Интеллектуальная сенсорика» (датчики и системы обработки данных)

Исследования:

- Разработка методов ИИ для анализа и интерпретации сигнатур акустических сигналов в задачах пассивной (скрытной) навигации, обнаружения, классификации и имитации подводных объектов;
- Разработка первичных преобразователей применительно к компоновке систем робототехники;
- Новое поколение измерительной аппаратуры для робастной верификации цифровых двойников сложных физико-механических систем;
- Разработка методов анализа геоданных космической съемки, электромагнитного сканирования природных и городских сред для диагностики их состояния, локализации скрытых объектов и мониторинга критических инфраструктур;
- Разработка и исследование электромагнитных методов мехабитроники для робототехнических комплексов медицинского назначения;
- Развитие методов интерпретации результатов измерений макроскопического и квантового уровней путем компьютерного анализа больших массивов данных и математического моделирования интеллектуальных сенсоров.

Ожидаемые эффекты:

Созданы промышленные сенсоры, датчики и матрицы мультиспектральных камер для сбора BigData состояния среды, структуры изделий и функциональных материалов, а также системы на основе искусственного интеллекта для прогнозирования динамического состояния инфраструктур «умных» городов, морских сред и производственных киберсистем.

Пакет «Приборы и методы интерпретации научных данных» (специальные приборы и методы интерпретации)

Исследования:

- Развитие теоретических методов и моделей для описания статических и динамических свойств атомных и электронных подсистем в нанокристаллических структурах и системах с пониженной размерностью. Создание многоуровневого комплекса теоретических методов на базе «первопринципных» методов квантовой механики, молекулярной динамики, уравнений механики сплошных сред для описания физико-химических свойств и процессов формирования наночастиц, пленок, нанокристаллических структур;
- Развитие сканирующих электромагнитно-акустических и магнитных активных методов неразрушающего контроля пространственно-неоднородного напряженно-деформированного, структурного и предельного состояний материалов и изделий при их изготовлении, испытаниях и эксплуатации;
- Проведение фундаментальных и прикладных исследований физико-химических процессов, электронной и локальной атомной структуры на поверхности и границах раздела конденсированных сред, формирующихся при ионно-лучевых, ионно-плазменных, лазерных воздействиях. Исследование нелинейно-оптических

явлений и физико-химических процессов, возникающих при взаимодействии лазерного излучения с наноструктурами. Получение углеродных, многослойных, композиционных полимерных пленок и адсорбционных слоев с повышенными механическими, каталитическими, электрохимическими свойствами.

Ожидаемые эффекты:

Новые методы исследования специальных материалов двойного назначения.

Пакет «Продовольствие в антропогенных средах» (развитие аграрных технологий и экосистем в экстремальных условиях городской среды, Арктики...)

Исследования:

- Разработка научных основ конструирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроэкосистем, агротехнологий нового поколения для обеспечения устойчивого экономически и экологически оправданного производства продукции растениеводства;
- Методы ускорения роста растений при использовании нанокompозита - тонкодисперсной суспензии металлуглеродного нанокompозита меди как стимулятора корнеобразования;
- Технология управления продуктивностью сельскохозяйственных растений и животных основанных на применении нанопузырьковых газонасыщенных водных сред;
- Разработка теоретических принципов и инновационных технологий воспроизводства плодородия сельскохозяйственных земель, в том числе деградированных, нарушенных и загрязненных различными поллютантами;
- Разработка эффективных методов терапии и профилактики массовых болезней молодняка крупного рогатого скота на основе специфических противовирусных глобулинов, продуктов переработки пчеловодства и различных штаммов эффективных микроорганизмов.

Ожидаемые эффекты:

Разработка эффективных подходов и методов улучшения хозяйственно-полезных признаков сельскохозяйственных животных и насекомых, создание систем содержания и кормления, обеспечивающих реализацию генетического потенциала с помощью ресурсосберегающих технологий производства продукции.

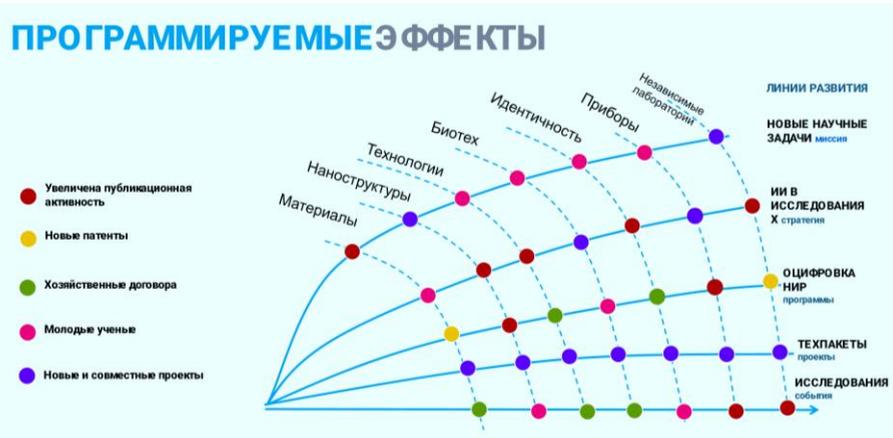
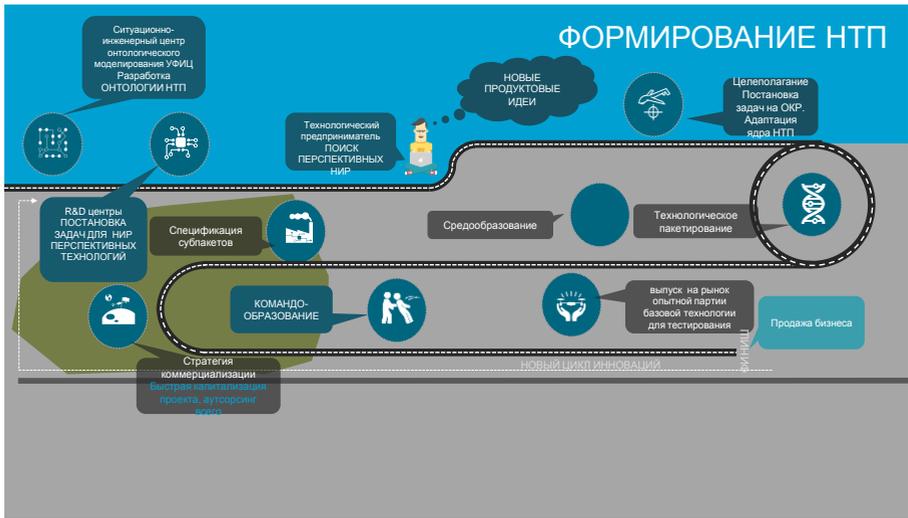
Пакет «Социоинжиниринг идентичности» (управление идентичностью, математическая лингвистика и социоинжиниринг)

Исследования:

- Интегрированная система национального корпуса удмуртского языка;
- Методы математической лингвистики удмуртского языка;
- Этнокультурный и конфессиональный ландшафт: факторы стабильности и потенциальные риски;
- Системная реконструкция и прогнозирование историко- культурных процессов.

Ожидаемые эффекты:

Гуманитарные технологии конструирования городских и конфессиональных сообществ, управления конфликтами, сохранения и развития национальной идентичности. Системы поддержки принятия решений местного самоуправления на основе ИИ, социо-гуманитарное проектирование, управление городской средой в «Умных городах».



Была проведена инвентаризация научных направлений

МЕРОПРИЯТИЕ	РЕЗУЛЬТАТ
Содержательная инвентаризация, пакетирование, онтологизация, архивация, упаковка накопленного УдмФИЦ УрО РАН исследовательского материала.	Создан Банк НИР УдмФИЦ УрО РАН, описаны компетенции научных подразделений.
Картирование научного познания или отдельных наук. Визуализация достижений, проблем и противоречий данной науки. «Белые пятна». Возможности и перспективы развития.	Сформулированы цели перспективных исследований.
Отраслевое прогнозирование научно-технологического развития областей научных исследований.	Построены возможные траектории технологического развития предприятий ОПК, определены места возможного участия УдмФИЦ возможность выхода ряда исследований в стадию технологизации.
Интеграция научных разработок в технологические пакеты и платформы, жизненные циклы продуктов, ориентированных на рынки будущего.	Вхождение УдмФИЦ УрО РАН в технологические консорциумы.
Создание компьютеризированной системы упаковки результатов исследований – НИР-Банка.	Запущена система обращения с результатами НИР УдмФИЦ УрО РАН.
Разработка юридических, финансовых, организационных инструментов для конструирования технологических консорциумов и конвертации научных разработок в рыночные продукты.	Созданы сервисы для работы с технологическими компаниями и трансфера научных открытий в эффекты рынка.

Внедрена новая система управления НИР

МЕРОПРИЯТИЕ	РЕЗУЛЬТАТ
Разделение научных исследований на исследования, исследования и исследования.	Выделение тематик научных работ для применения инструментов ИИ.
Разработка алгоритмов научных исследований, создание ИИ, способных к научной работе этого уровня.	Появление компетенций работы с ИИ.
Описание модели деятельности УдмФИЦ УрО РАН и базовых бизнес-процессов.	Автоматизация бизнес-процессов.
Внедрение в исследовательские практики систем стратегического и прогностического управления.	Вхождение в международные исследовательские проекты.
Создание ситуационных комнат различных типов для решения исследовательских, внедренческих, инфраструктурных задач.	Создание сервисов сборки технологических стартапов и научно-технологической разведки.
Создание «запускающих команд» под исследовательские проекты и проекты технологизации результатов исследований.	Подготовленные команды для запуска проектов.

Проблемы, требующие решения:

1. Обеспечить возможность для УдмФИЦ УрО РАН включать высококвалифицированный инженерный состав научных подразделений в структуру основного персонала, а не в АУП.

2. Решить вопрос по организации в УдмФИЦ УрО РАН работ по грантам РФФИ. Сегодня противоречие в требованиях Минфина в лице ФНС и РФФИ ведёт к ненужным судебным разбирательствам.

3. Структура показателей для оценки результативности многопрофильных УдмФИЦ УрО РАН должна быть разработана с учётом этой многопрофильности.

4. Магистратура и аспирантура в УдмФИЦ УрО РАН. Для УдмФИЦ УрО РАН требуется порядка 10 программ. Аккредитация одной программы 100 тыс. руб. Контрольные цифры приема в аспирантуру ежегодно уменьшаются. Субсидии на одного аспиранта составляют 45-50 тыс. руб., что в двое меньше, чем по аспирантуре Минобрнауки.

5. Выравнивание з/п по сельскохозяйственному направлению.

Для полноценной реализации программы развития требуются финансовые ресурсы на обновление и модернизацию материально-технической базы для научных исследований. За период, прошедший после завершения реорганизации, дополнительных субсидий на реализацию программы развития УдмФИЦ УрО РАН (Центр) не получил. Более того, в состав Центра вошел Удмуртский НИИСХ, имеющий большое количество задолженностей, которые Центру пришлось погасить за счет собственных ресурсов, которые могли бы быть направлены на развитие перспективных научных направлений.

А.В. Трапезников¹

Миграция, накопление и распределение радионуклидов в северных реках России, подверженных воздействию предприятий ядерного топливного цикла и глобальных выпадений

Организации – участники проекта:

- 1) Институт экологии растений и животных УрО РАН (ИЭРЖ УрО РАН)
(зав. Отделом континентальной радиоэкологии, д.б.н. А.В. Трапезников)
- 2) Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
(зам. директора по радиационной безопасности Федерального исследовательского центра Коми НЦ УрО РАН д.б.н. В.Г. Зайнуллин)
- 3) Тобольская комплексная научная станция УрО РАН
(зам директора по научной работе, к.б.н. С.А. Козлов)

Руководитель проекта: д.б.н. Трапезников А.В.,
Зав. Отделом континентальной радиоэкологии ИЭРЖ УрО РАН

Все 3 организации – участники проекта входят в УрО РАН.

¹ Заведующий отделом Института экологии растений и животных УрО РАН, доктор биологических наук

Радиоэкологическое исследование 26 рек Обь-Иртышской речной системы, бассейнов рек Печоры, Северной Двины и Вычегды.

Бассейну реки Оби принадлежит важное место в экономике России, ее водные ресурсы обеспечивают потребности населения и жизнедеятельности региона, используются для водоснабжения, судоходства, рыболовства и рекреации. В пределах территории Обского бассейна проживает 22 млн. человек (15% от всего населения России). Среди рек России Обь занимает первое место по площади водосбора, второе место по длине и третье (после Енисея и Лены) по водоносности.

В связи с развитием предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ) в Российской Федерации значительная часть водных экосистем оказалась подверженной поступлению радиоактивных веществ. Особую озабоченность вызывает радиоэкологическая ситуация, сложившаяся в Обь-Иртышской речной системе.

В 1949-1952гг., вследствие отсутствия надлежащих технологических систем обращения с жидкими отходами радиохимического производства, ПО «Маяк» было сброшено 100 ПБк радиоактивных отходов в реку Течу, являющуюся частью Обь-Иртышской речной системы. В результате облучению подверглись 124 тысячи человек, проживавших в прибрежной зоне рек Течи и Исети в пределах Челябинской и Курганской областей [1].

Особую опасность вызывает сосредоточение средне- и низкоактивных жидких радиоактивных отходов в открытых водоемах. Под озером Карачай, являвшимся приемником среднеактивных отходов, находится около 4,4 ЭБк активности, преимущественно, за счет ^{90}Sr и ^{137}Cs . В каскаде промышленных водоемов, созданных в пойменной части верховьев р. Течи, после прекращения сбросов в нее отходов радиохимического производства, накоплено 350 млн. м³ загрязненной воды, являющейся по сути низкоактивными отходами с суммарной активностью около 7,4 ПБк. В пойме р. Течи в 18 км от плотины окончного водоема на площади 45 га, в так называемых Асановских болотах, депонировано 0,22 ПБк ^{90}Sr и ^{137}Cs . Часть этой активности ежегодно вымывается с паводковыми водами в Обь-Иртышскую речную систему [2].

Кроме вышеназванных источников определенный вклад в радиоактивное загрязнение рек Обь-Иртышского бассейна вносят также действующая Белоярская АЭС, бывший Семипалатинский испытательный ядерный полигон, ряд предприятий ЯТЦ и глобальные выпадения. Представленные в статье результаты являются продолжением крупномасштабных научно-мониторинговых исследований Обь-Иртышской речной системы, ранее обобщенных в работах [3,4].

Полевые работы, связанные с отбором проб на реке Обь и ряде ее протоков в границах Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), были выполнены в период 2014-2016 гг. Общая протяженность обследованного участка реки составила около 431 км, из которых 171 км выше по течению от г. Лабытнанги, и 260 км - ниже по течению. Координаты точек отбора проб определяли при помощи спутниковой навигационной системы GPS с использованием GPS-приемника марки «Eтех» фирмы GARMIN. Точность определения координат составляет 10-50 метров. Расположение точек отбора проб и их координаты представлены на карте-схеме (рис. 1). Удаленность исследованных участков относительно створа, расположенного в 10 км выше г. Лабытнанги и выбранного в качестве нулевой точки отсчета, определялась трассировкой вдоль русла Оби, используя приложение Яндекс-карты и встроенный инструментарий (Яндекс-линейка).

Следует отметить, что содержание радионуклидов в воде Оби существенно ниже уровней вмешательства, предусмотренных Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) для питьевой воды [5]. Согласно НРБ-99/2009, уровни вмешательства

при содержании в воде отдельных радионуклидов составляют: ^3H - 7600 Бк/кг, ^{90}Sr – 4,90 Бк/кг, ^{137}Cs – 11,0 Бк/кг. Таким образом, удельная активность трития и цезия – 137 в воде Нижней Оби на три порядка величин ниже уровня вмешательства, стронция-90 – на два порядка величин ниже уровня вмешательства.

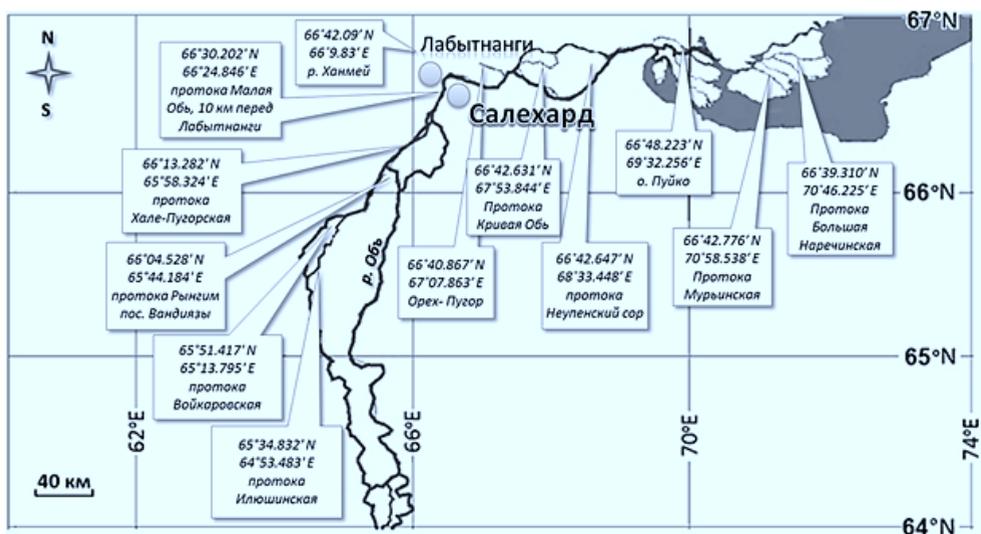


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб на р. Обь

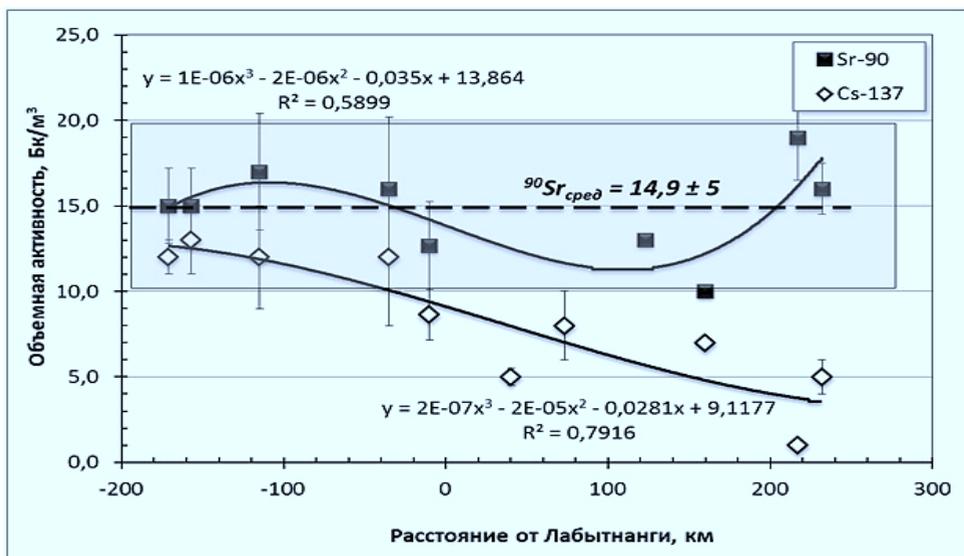


Рис.2. Изменение удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде по течению Оби

На рис. 2 приведены графики изменения удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде на протяжении исследованного участка Оби. Профили удельной активности радионуклидов на исследуемом участке вдоль течения Оби удовлетворительно аппроксимируются кубическими полиномами, а изотопное отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ – линейным уравнением:

$$^{90}\text{Sr} \text{ (Бк/кг)} = 1,3 \times 10^{-9}x^3 - 2,71 \times 10^{-8}x^2 - 4,73 \times 10^{-5}x + 0,014; R^2 = 0,52 \quad (1)$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ (Бк/кг)} = 3,07 \times 10^{-10}x^3 - 4,4 \times 10^{-8}x^2 - 3,25 \times 10^{-5}x + 0,01; R^2 = 0,64 \quad (2)$$

$$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr} = -0,0014x + 0,63; R^2 = 0,66 \quad (3)$$

где x – расстояние от створа Лабитнанги в километрах (здесь и далее во всех формулах); условные отрицательные значения приняты для створов перед Лабитнанги, положительные – после.

Продольное распределение ^{90}Sr (рис. 2) характеризуется отсутствием выраженного тренда по течению реки. Показано, что удельная активность данного радионуклида в большинстве створов варьирует в диапазоне $0,01 \div 0,02$ Бк/кг (данная область выделена на графике). Принимая во внимание интервалы стандартных отклонений локальных содержаний, удельную активность ^{90}Sr на всем протяжении исследованного участка Оби можно также представить средним значением $0,015 \pm 0,005$ Бк/кг, где абсолютная расширенная неопределенность принята с коэффициентом охвата 2.

Одновременно с этим, отмечается постепенное снижение на протяжении исследуемого участка удельной активности ^{137}Cs (рис. 2) от начальных значений $0,012 \div 0,013$ Бк/кг на входных створах (протоки Илюшинская и Войкаровская) до $0,001 \div 0,005$ Бк/кг в конечных створах, расположенных ближе к Обской Губе.

Изотопное отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ для удельных активностей в воде Оби (рис. 3) снижается от значений, близких к единице для наиболее удаленных створов, до значений 0,2 и ниже для створов, расположенных ближе к Обской Губе, и в целом удовлетворительно аппроксимируется линейным уравнением регрессии (3). Такой ниспадающий ход зависимости объясняется более высокой подвижностью ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs , который легко сорбируется и удерживается донными и пойменными грунтами, вследствие чего содержание его в воде по течению реки уменьшается.

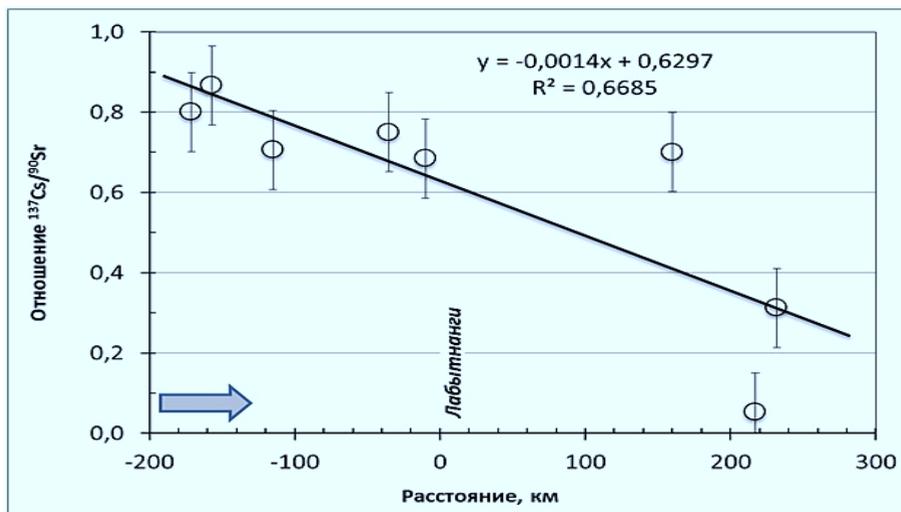


Рис. 3. Изменение изотопного отношения удельных активностей $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в воде по течению Оби

Изменение удельной активности трития в воде Нижней Оби представлено на рис. 4. Изменение содержание трития в воде на этом участке удовлетворительно описывается полиномами третьего или более высокого порядка, например:

$${}^3\text{H} \text{ (Бк/кг)} = 8 \times 10^{-8}x^4 + 3 \times 10^{-5}x^3 + 0,0031x^2 + 0,126x + 5,18; R^2 = 1 \quad (4)$$

Среднее значение удельной активности трития на рассматриваемом участке Оби характеризуется величиной $3,7 \pm 0,9$ Бк/кг. В целом, содержание трития в воде достаточно низкое и не превышает фоновых значений, принятых для данного региона [6]. Более высокие значения содержания трития отмечены на участках, расположенных в районе городов Лабитнанги и Салехард, более низкие показатели на входных и заключительных створах.

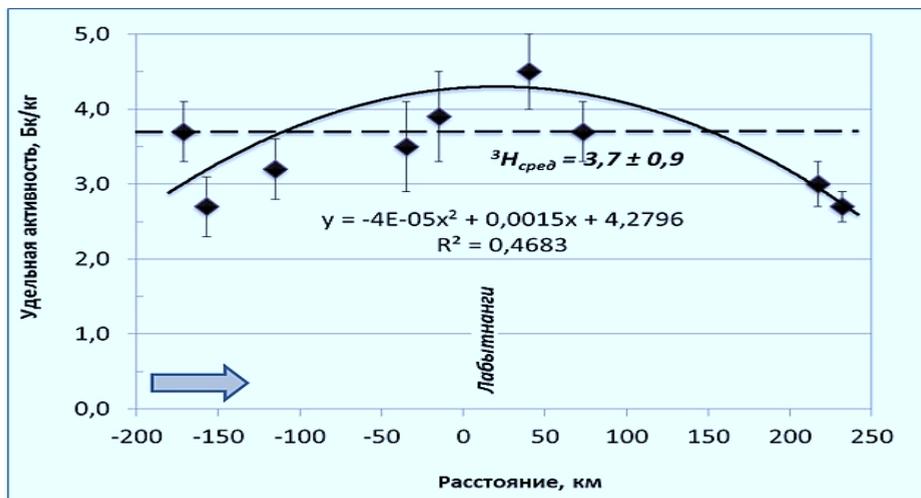


Рис. 4. Удельная активность трития в воде исследованных створов Оби

Величину плотности запасов радионуклидов в пойменных почвах и донных отложениях исследованных створов определяли послойным суммированием активностей радионуклидов в пробах, нормируя полученные результаты на квадратный метр. Изменение плотности запасов радионуклидов в пойме на исследованном участке нижней Оби приведено на рис.5. Из приведенных данных следует, что расчетные величины запасов Sr-90 варьируют около среднего значения 2954 ± 750 Бк/м², в то время, как плотность запасов Cs-137 на исследованном участке поймы Оби параболически возрастает вниз по течению (рис.5а), увеличиваясь от ~ 1000 до ~ 3000 Бк/м², достигая уровней, характерных для ⁹⁰Sr. Регрессионные уравнения, соответствующие описанным изменениям, представлены кубическими полиномами и приведены далее в виде подинтегральных функций в расчетах общих запасов радионуклидов.

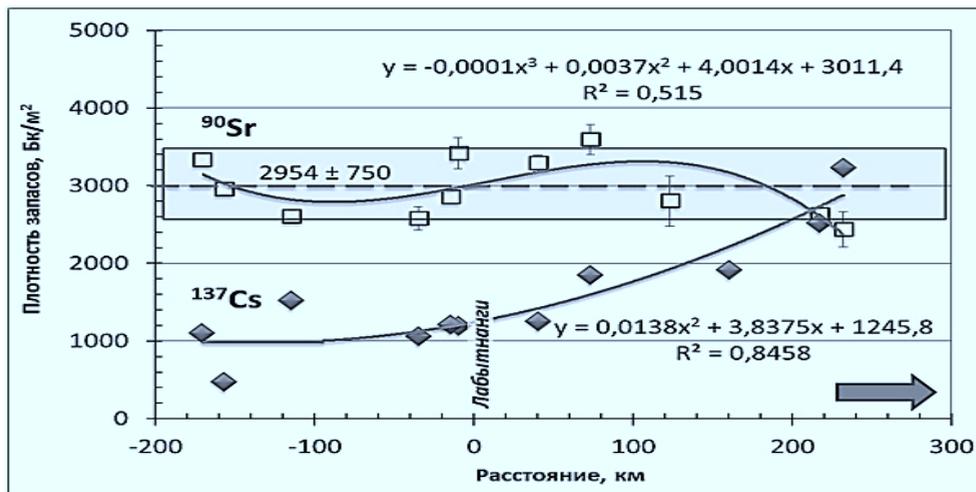
Оценка интегральных запасов техногенных радионуклидов в 20-км пойме Нижней Оби на участке от протоки Илюшинская до Обской Губы (расстояния от -171 км до +260 км) дает следующие величины, Бк:

$${}^{90}\text{Sr} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} (-0,00014 \cdot \underline{x}^3 + 0,0037 \cdot \underline{x}^2 + 4,0014 \cdot \underline{x} + 3011,4) \underline{d}\underline{x} = 2,545 \times 10^{13} \quad (5)$$

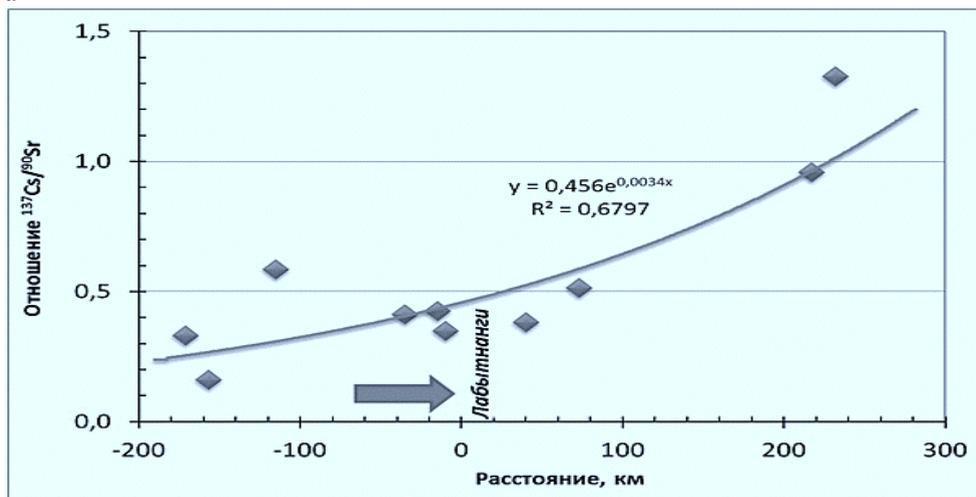
$${}^{137}\text{Cs} = 10^6 \cdot 20 \cdot \int_{-171}^{260} (0,0138 \cdot \underline{x}^2 + 3,8375 \cdot \underline{x} + 1245,8) \underline{d}\underline{x} = 1,429 \times 10^{13} \quad (6)$$

Таким образом, общая оценка запасов радионуклидов в 20-км пойме на участке Нижней Оби от створа протоки Илюшинская до Обской Губы составляет $2,55 \times 10^{13}$ Бк для ⁹⁰Sr и $1,43 \times 10^{13}$ Бк для ¹³⁷Cs. Отметим, что полученная оценка запасов для ⁹⁰Sr и

^{137}Cs примерно в 5,1 и 4,2 раза превышает рассчитанную ранее величину годовых стоков этих радионуклидов в створе Лабитнанги ($5,0 \times 10^{12}$ Бк и $3,4 \times 10^{12}$ Бк соответственно).



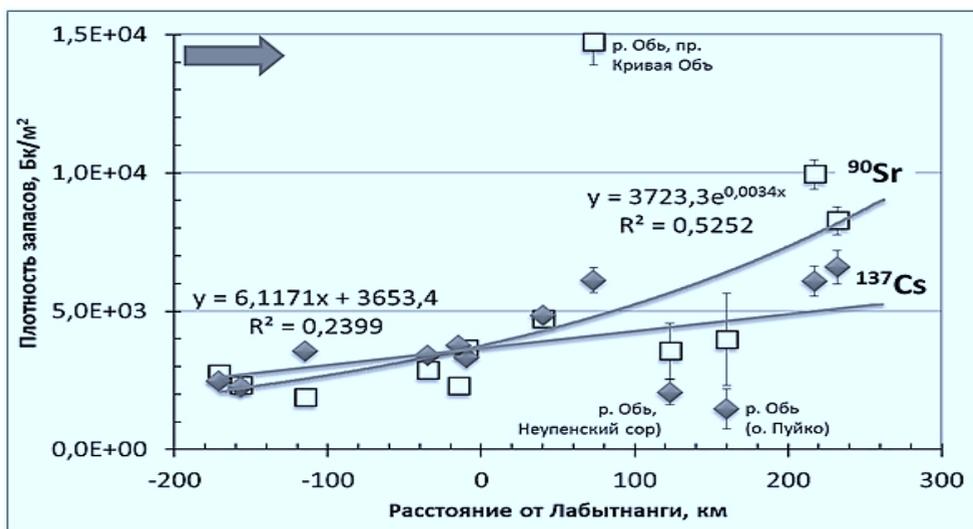
а



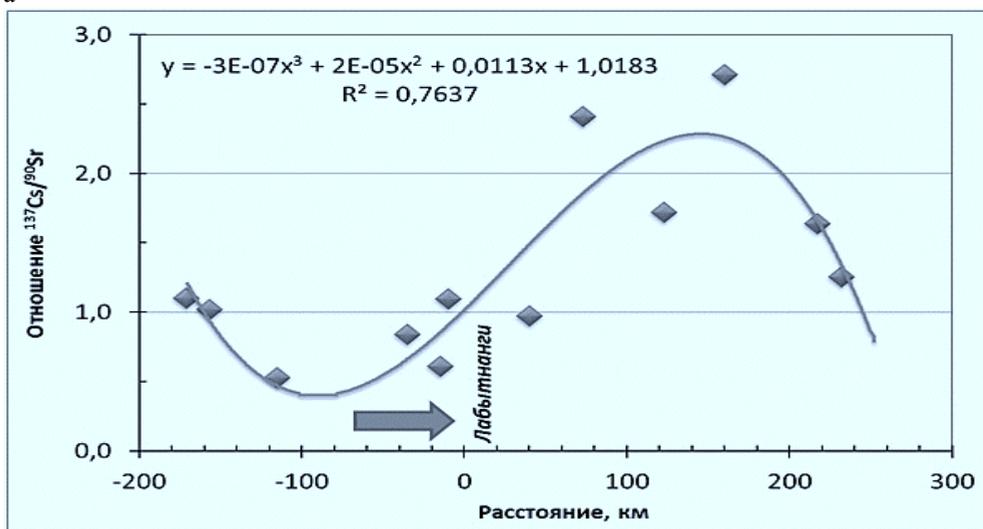
б

Рис. 5. Плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr (а) в пойменных почвах исследованных створов Оби и изотопное отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ (б)

График изменений плотности запасов техногенных радионуклидов в донных отложениях (рис. 6) демонстрирует возрастающий характер данного параметра по течению Оби. Исследования показывают, что плотности запасов радионуклидов в донных отложениях подвержены более сильной вариации, чем в пойме, вследствие чего тренды зависимостей имеют более низкие значения R^2 . Наиболее высокое значение плотности запасов ^{90}Sr в донных отложениях зарегистрировано в протоке Кривая Обь – $14733 \text{ Бк}/\text{м}^2$, явно выпадающее из общего тренда. Аналогично, для ^{137}Cs выпадают из общего возрастающего тренда самые низкие величины 1467 и $2068 \text{ Бк}/\text{м}^2$, зарегистрированные в протоках около о. Пуйко и Неупенский Сор.



а



б

Рис. 6. Плотность запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr (а) в донных отложениях исследованных створов Оби и изотопное отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ (б)

Оценка интегральных запасов техногенных радионуклидов в донных отложениях нижней Оби с условной шириной русла реки 3 км на участке от протоки Илошинская до Обской Губы (расстояния от -171 км до +260 км) дает следующие величины, Бк:

$$^{90}\text{Sr} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{260} 3723,3 \cdot e^{0,0034x} dx = 6,115 \times 10^{12}$$

$$^{137}\text{Cs} = 10^6 \cdot 3 \cdot \int_{-171}^{260} (6,1171 \cdot x + 3653,4) dx = 5,076 \times 10^{12}$$

Полученная оценка запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в донных отложениях на исследуемом участке сопоставима с годовым стоком этих радионуклидов в створе Лабытнанги ($5,0 \times 10^{12}$ Бк и $3,4 \times 10^{12}$ Бк соответственно) и в четыре-пять раз меньше приведенной ранее расчетной величины запасов этих радионуклидов в пойме ($2,55 \times 10^{13}$ Бк для ^{90}Sr и $1,43 \times 10^{13}$ Бк для ^{137}Cs).

Суммарные запасы радионуклидов в пойме и донных отложениях обследованного участка реки составляют: ^{90}Sr - $3,2 \times 10^{13}$ Бк, ^{137}Cs - $1,9 \times 10^{13}$ Бк.

Обсуждение

Проведенные исследования показывают, что характер распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs на обследованном участке Нижней Оби существенно различается. Продольное распределение ^{90}Sr в воде характеризуется отсутствием выраженных колебаний по течению реки. При этом удельная активность ^{90}Sr в воде, претерпевая естественные локальные вариации, в целом следует постоянному горизонтальному тренду вдоль течения, соответствующему среднему значению $0,015 \pm 0,005$ Бк/кг. Это означает, что почти весь радиоактивный стронций, поступающий по Оби, находясь в установившемся динамическом равновесии с запасами в пойме, транзитом проходит весь протяженный и разветвленный участок Нижней Оби, практически без потерь достигает крайних створов и далее переносится в Обскую Губу. Ситуация с ^{137}Cs принципиально отличается, удельная активность данного радионуклида монотонно снижается на всем протяжении исследованного участка.

Содержание ^{137}Cs в воде от входного створа (протока Илюшинская) до завершающего (протока Большая Неречинская) уменьшается в 12 раз. Это объясняется разными миграционными характеристиками радионуклидов. Высокая миграционная подвижность ^{90}Sr в речных системах обеспечивается его хорошей растворимостью в воде и слабым удержанием донными отложениями и почвой. Цезий-137, в отличие от стронция-90, легко сорбируется и удерживается донными отложениями и пойменными почвами. Это наглядно подтверждается распределением запасов ^{137}Cs в пойменных почвах и донных отложениях. Плотность запасов ^{137}Cs на исследованном участке поймы Оби параболически возрастает вниз по течению, увеличиваясь от ~ 1000 до ~ 3000 Бк/м². Плотность запасов радионуклидов в донных отложениях также характеризуется нарастающей динамикой. Изотопное отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в пойменных почвах фактически повторяет профиль распределения ^{137}Cs , возрастая от 0,25 на входном створе (протока Илюшинская) до 1-1,3 в конечных створах (ближе к Обской Губе). Изотопное отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в донных отложениях имеет более сложный профиль, но в целом изотопные отношения показывают более высокие значения в створах, расположенных после Лабытнанги.

Таким образом, участок Нижней Оби перед Обской Губой с его многочисленными протоками, старицами и обширной заболоченной поймой является для ^{137}Cs как бы естественным природным фильтром, где происходит его осаждение и депонирование в пойменных почвах и донных отложениях.

Суммарные запасы радионуклидов в пойме и донных отложениях на обследованном участке Нижней Оби, протяженностью 431 км составили: ^{90}Sr - $3,2 \times 10^{13}$ Бк, ^{137}Cs - $1,9 \times 10^{13}$ Бк, что в 6,4 и 5,5 раза выше годовых стоков данных радионуклидов с водой в створе Лабытнанги.

Ранее, в ряде обобщающих работ [7,8] на основании результатов натурных исследований было показано, что основным депо радионуклидов в пресноводных биогеоценозах являются донные отложения водоема, а в реках это пойменные почвы и донные отложения пойменных водоемов, которые поглощают до 80% и более нуклидов, затем следует водная компонента (в пределах от долей процента до 20%) и,

наконец, гидробионты (так, высшие водные растения могут аккумулировать в общей сложности доли процента от суммарной активности в водоеме).

Результаты исследований в границах ЯНАО очень информативно сравнить с аналогичными данными, полученными при проведении многолетних исследований (2004-2010 гг.) Обь - Иртышской речной системы в границах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) [4]. Так, средний годовой сток в створе, расположенном в 65 км ниже слияния Иртыша с Обью, составил по ^{90}Sr – $5,09 \times 10^{12}$ Бк, по ^{137}Cs – $5,73 \times 10^{11}$ Бк, при среднем расходе воды 330 км^3 в год. В створе, расположенном в 10 км выше г. Лабитнанги годовой сток составил $5,0 \times 10^{12}$ Бк по ^{90}Sr и $3,4 \times 10^{12}$ Бк по ^{137}Cs при среднем многолетнем стоке воды 394 км^3 в год. Таким образом, годовой расход воды в створе Лабитнанги примерно в 1,2 раза выше, чем в ХМАО, а годовой сток ^{90}Sr практически одинаков. При этом годовой сток ^{137}Cs в створе Лабитнанги в 5,9 раза выше, чем в ХМАО. Поэтому есть основание предположить, что имеет место вымывание и перенос ^{137}Cs из поймы и донных отложений Оби с территории, расположенной между створами в ХМАО и ЯНАО.

Сравнительная оценка интегральных запасов ^{90}Sr и ^{137}Cs в пойме обследованного участка Нижней Оби с аналогичными данными для Оби в границах ХМАО, где средние значения за период 2004-2010 гг. составили соответственно $1,07 \times 10^{13}$ Бк и $3,34 \times 10^{12}$ Бк [4] показывает, что запасы радионуклидов в Нижней Оби ($2,55 \times 10^{13}$ Бк и $1,43 \times 10^{13}$ Бк соответственно) в 2,4 и 4,3 раза превышают таковые в речной системе в границах ХМАО.

Помимо переноса техногенных радионуклидов по системе рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь значительный вклад в радиоэкологическую обстановку на Русском Севере вносят Новоземельский испытательный полигон и радиоактивное загрязнение тяжелыми естественными радионуклидами при добыче радия на площади водосбора рек, входящих в бассейн реки Печоры.

В 1955-1962 гг. на Новоземельском испытательном полигоне было проведено 86 воздушных испытаний ядерного оружия (ЯО) суммарной мощностью 240 Мегатонн (Мт).

Все остальные испытания ЯО в СССР (включая Семипалатинский полигон) составили по суммарной мощности 3,8 Мт [9]

Удаление от Новоземельского испытательного полигона составляет:

- 1) Ямало-Ненецкий автономный округ: от 500 км до 1800 км;
- 2) Республика Коми: от 800 км до 1600 км [9].

На территории площади водосбора реки Ухты и ее притоков, входящих в бассейн реки Печоры расположены 12 заводов по добыче радия из подземных вод.

Локальные участки радиоактивного загрязнения тяжелыми естественными радионуклидами (ЕРН) рассредоточены на площади 3000 км^2 . Вынос ЕРН в гидрографическую сеть происходит с 1931 г и не контролируется.

Задел у коллектива проекта:

1. Дана количественная оценка сравнительного вклада рек Обь и Иртыш в радиоактивное загрязнение Оби после слияния этих рек. Интегральный вынос всех трех рассматриваемых радионуклидов будем большим для Оби: по ^{90}Sr в 2,8 раза, по ^{137}Cs – в 2,3 раза и по $^{239,240}\text{Pu}$ – в 2,0 раза.

2. В пойменных почвах нижней Оби плотность запасов ^{137}Cs возрастает по течению в 3 раза, величина плотности запасов ^{90}Sr варьирует около среднего значения.

3. Показано, что пойменные почвы выполняют барьерную функцию по отношению переноса радионуклидов речными экосистемами.

4. Проведена подробная оценка миграционной способности и концентрирования тяжелых естественных радионуклидов в воде, донных осадках, пойменных почвах и биомассе водных растений в реках Печорского бассейна в зоне влияния бывшего радиевого производства (р. Ухта, р. Ярега) и в районе уранового месторождения непромышленного значения (рр. Воя, Соплеск).

Ожидаемые результаты

1. Эмпирические математические модели переноса радионуклидов Северными реками – основа прогноза радиационной обстановки в регионе.
2. Ранжирование рек по уровню радиационной нагрузки, обусловленной воздействием предприятий ЯТЦ и глобальных выпадений
3. Идентификация основных источников радиоактивного загрязнения речных систем с помощью метода изотопных отношений
4. Количественная оценка запасов радионуклидов в основных компонентах северных речных экосистем (вода, пойменные почвы, донные отложения)
5. Оценка возможности использования рыбных ресурсов рек для питания населения согласно радиационно-гигиеническим критериям
6. Эффективность технологий проведения реабилитационных мероприятий в очагах радиоактивного загрязнения, расположенных вблизи водотоков (р. Ухта)

Литература

1. Заключение комиссии по оценке экологической ситуации в районе деятельности ПО «Маяк» Минатомэнергопрома СССР, организованной распоряжением президиума АН СССР №1140-501 от 12.06.1990 г.
2. Заключение комиссии под председательством вице-президента АН СССР О.М. Нефедова, организованной распоряжением Президента СССР № РП-1283 от 3 января 1991 г, по экологической и радиоэкологической обстановке в Челябинской области.
3. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Том I. Екатеринбург: АкадемНаука, 2014. 496 с.
4. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем Том 2. Екатеринбург, АкадемНаука, 2016. 480 с.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
6. Чеботина М.Я., Николкин О.А. Радиоэкологические исследования трития в Уральском регионе. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 80 с.
7. Трапезников А.В. Радиоэкология пресноводных экосистем (на примере Уральского региона): Автореф. дис. докт. биол. наук. Екатеринбург, 2001. 48 с.
8. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Радиоэкология пресноводных экосистем. Екатеринбург: УрГСХА, 2006. 390 с.
9. Ядерные испытания СССР. Новоземельский полигон: обеспечение общей и радиационной безопасности и ядерных испытаний. М.: ИздаАТ. 2000. 487с.

В.Н. Пучков¹

Основные задачи исследований в области геологии, металлогении и глубинного строения Уральского региона

Введение

В Указе Президента РФ от 1 декабря 2016 года «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» напрямую практически ничего не говорится о науках о Земле. Я позволил себе в своем докладе усомниться в том, что государство не заинтересовано в открытии новых месторождений полезных ископаемых и пополнении фонда запасов, постоянно убывающих в ходе эксплуатации недр – тем более, что добыча сырья является значительным источником пополнения государственного бюджета. При этом я выразил глубокое убеждение, что без развития наук о Земле, являющихся камертоном и гарантией качества и результативности поисков и разведки полезных ископаемых, мы рискуем серьёзно поплатиться. Я делал свой доклад на Президиуме 14 ноября 2018 г., а 22 декабря 2018 г. Распоряжением Правительства РФ была утверждена «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», которая собственно и отвечает на мой запрос. Мои коллеги уже откликнулись на этот документ, и я не думаю, что мне стоит давать его развернутый анализ (Яковлев и др., 2019), хотя в нынешней редакции своего текста я учту некоторые его положения.

Достижения и дальнейшие перспективы

Здесь я обращаю внимание в основном на инновационных направлениях в таких науках о Земле как стратиграфия, литология, петрология, геохимия, минералогия, тектоника, металлогения, геофизика – насколько это вообще возможно за 15 минут. И это будет достаточно субъективно. Дело в том, что современная геология – это чрезвычайно разветвленная система, глубоко «прорастающая» в другие отрасли знаний, и недаром говорится, что знать обо всём могут только все.

Геологию иногда называют «наукой ста профессий», имея в виду большое количество её направлений, тесно переплетающихся со смежными науками. Например, стратиграфия это наука о геологическом Времени. Она тесно связана, прежде всего, с палеонтологией и изотопной геохронологией. Палеонтологию, в свою очередь, можно считать важнейшей отраслью биологии, без которой невозможно развитие учения об эволюции живого мира. Изотопная геохронология - порождение ядерной физики и ядерной химии, дающее возможность выразить время в цифре. А есть еще хемотратиграфия, связанная с учением о стабильных изотопах, есть магнитостратиграфия, производная знаний по истории магнитного поля Земли. И так с каждой геологической дисциплиной, будь то петрология, литология, геохимия, гидрогеология, геофизика, геоморфология, каждая из которых делится в свою очередь на большое количество отраслей, перекидывающих мостики к другим наукам. Из этого следует, что в кратком докладе невозможно даже перечислить те задачи, которые стоят перед учеными - геологами.

Стратиграфия. Однако вернемся к стратиграфии. Из достижений стратиграфии далеко не всегда следуют выводы о том, где искать полезные ископаемые. Но бывали и очень показательные случаи обратного характера. Так известный исследователь Полярного Урала К.Г. Войновский-Кригер, в бытность свою заключенным Ухтпечлага, еще в 30-х годах, до открытия Воркутинского угольного бассейна, прошел маршрут вкостр правобережья реки Печоры в её среднем течении, собрал фаунистические остатки (а он имел квалификацию палеонтолога) и определил, что

¹ Научный руководитель Института геологии УрО РАН, член-корреспондент РАН

выходящие там скалы известняков принадлежат турнейскому и визейскому ярусам. Между этими скалами было задернованное пространство. Он задал в нем канавы и вскрыл пласты угля, точно угадав, что как раз здесь слои должны принадлежать так называемой угленосной свите нижнего визе. В то время печорские пароходы ходили на угле, и открытие нового месторождения оказалось весьма кстати: бери лопату и граби! Константина Генриховича расконвоировали, а в дальнейшем он стал Главным геологом Воркутинского комбината. Комбинат отвечал за добычу угля в Воркутском бассейне, а также за геологическую съемку, поиски и разведку полезных ископаемых на всем Полярном Урале.

Но это к слову. Главное, что стратиграфия - базисная дисциплина всей геологии, без которой невозможна корреляция событий, изучение истории Земли и эволюции живой и неживой природы.

Приоритетные задачи стратиграфии со временем менялись. Например, во времена моей молодости одной из таких задач было максимальное использование ресурса новой для Урала группы ископаемых - конодонтов - для существенного уточнения возраста пород и улучшения качества геологических карт. Эта задача была в основном выполнена, при моем активном участии, до нулевых годов, хотя изучение конодонтов и сейчас остается востребованным направлением исследований.

Сейчас большую актуальность приобрела проблема «золотых гвоздей» (т.е. стандартов границ стратонев). В последние десятилетия Международная комиссия по стратиграфии, задавшись целью более строго и унифицировано ранжировать подразделения геологического времени, проводила интенсивные работы по установлению эталонных разрезов нижних границ ярусов Международной стратиграфической шкалы. В геологическом просторечьи эти границы называют «золотыми гвоздями», а официально - GSSP (Global Stratotype Section and Point) – Глобальный стратотипический разрез и точка. Установление каждой из таких точек обосновывается целой группой специалистов - палеонтологов, геохронологов, геохимиков и др. К настоящему времени установлено 2/3 ярусных границ GSSP. Самое большое количество золотых гвоздей (10) установлено в Китае. В России до 2018 г не было ни одного. А это плохо. Это вопрос геополитики, а она влияет на престиж российской науки. Впрочем, в июле 2018 года «лёд тронулся». Сотрудники лаборатории стратиграфии ИГГ УрО РАН, совместно с иностранными специалистами, обосновали установление GSSP «нижняя граница сакмарского яруса в Усольском разрезе (Башкортостан)» (рис.1) и это предложение было ратифицировано Международным союзом геологических наук 21 июля 2018 года. Таким образом, сакмарский ярус стал легитимным подразделением Международной стратиграфической шкалы (Chernykh et al., 2016). В перспективе для наших специалистов открывается большое поле деятельности: на Южном Урале, в пределах Башкирии, есть разрезы, весьма благоприятные для установления GSSP, в частности, для нижней границы кунгурского яруса (разрез Мечетлино), артинского (Дальний Тюлькас), московского яруса (разрез Басу), серпуховского яруса (разрез Кардаилловка). Работа в этом направлении продвигается (Алексеев и др., 2010, Сунгатуллин и др., 2018)

В последнее время большие перспективы на Урале открылись для изучения верхнего протерозоя – огромного по протяженности отрезка времени, от 1800 до 540 млн лет. Наиболее полный разрез этих отложений находится на Южном Урале, в Башкирском антиклинории. Здесь академик Н.С. Шатский выделил стратотип нового подразделения докембрия, названного Рифеем, по античному названию Уральских гор. В международной стратиграфической шкале (МСШ) это подразделение не прижилось (оно примерно отвечает Мезопротерозою и Неопротерозою), однако в

Общей Российской шкале (ОСШ) Рифей занял подобающее место. Стратиграфия Рифея изучалась несколькими поколениями уральских геологов. В последнее время, благодаря значительному прогрессу в развитии методик абсолютного радиоизотопного датирования и хемотратиграфии, удалось значительно уточнить абсолютный возраст границ основных подразделений рифея в стратотипе и в Волго-Уральской области (Пучков и др., 2016; Сергеева и др., 2018). В частности, выделен новый стратон рифея, аршиний, 770- 600 млн лет. Вулканиды близ нижней границы среднего рифея датированы как 1380-1386 вместо 1350 ± 20 млн. лет. Вулканиды нижнего рифея датированы как 1752 ± 11 вместо 1650 ± 50 млн. лет (рис. 2). Возможности новых методик датировки далеко не исчерпаны. В частности, получает большое развитие LA-ICP MS (лазерная абляция) метод датировки обломочных цирконов в песчаниках, в комплексе с определением содержаний малых элементов в цирконах, указывающий на нижний возрастной предел изучаемых пород, характер и возраст размывавшихся источников.



Рис.1. Разрез Усолка. Основание сакмарского яруса, где забит первый в России «золотой гвоздь» (GSSP сакмарского яруса).

Геопарки. Еще одним направлением, где России необходимо преодолеть отставание, является организация геопарков. Геопарк – это территория, в пределах которой можно проводить экскурсии на геологические тематики, развивать туризм, с развлекательными и образовательными целями. Первый в России такой геопарк под названием Янган-тау организован недавно в Салаватском районе Башкирии и утвержден ЮНЕСКО. В его основу положены такие объекты, как уникальный газоготермальный источник Янган-тау, на базе которого работает курорт. Имеются и другие интересные объекты: Мечетлинский разрез, в котором практически обоснован новый «золотой гвоздь», стратотипические разрезы башкирского яруса, пещеры с остатками вымершей крупной фауны и с артефактами древнего человека. Объекты этого геопарка описаны в журнале (Геологический Вестник №1, 2018). Сейчас возник запрос на обоснование еще одного геопарка, под названием Тратау, центром притяжения которого должны быть шиханы – уникальные памятники природы, представляющие собой сохранившиеся и поднятые над равниной карбонатные рифы древнего, раннепермского моря (Пучков, 2019).

Обозначения свит на колонках:

Урал (снизу вверх): ai – айская, bin – большеинзерская, st – саткинская, sr – суранская, b – бакальская, js – юшинская, mš – машакская, zg – зигальгинская, zk – зигазино-комаровская, av – авзянская, zl – зильмердакская, kt – катавская, in – инзерская, mn – миньярская, uk – укская, bn – байнасская, mh – махмутовская, ig – игонинская, sh – шумская, bk – бакеевская, ug – урюкская, bs – басинская, kk – куккараукская, zp – зиганская
Волго-Уральская область (снизу вверх): sg – сигаевская, ks – костинская, nr – норкинская, rt – ротковская, mn – минаевская, kl – калтасинская, kb – кабаковская, nd – надеждинская, tk – тукаевская, ol – ольховская, us – усинская, ln – леонидовская, pr – приютовская, sn – шиханская, lz – леузинская, kp – кипчакская, sv – сергеевская, bc – байкибашевская, sp – старопетровская, sl – салиховская, kr – карлинская

Тектоника. Начиная с 70-х годов Урал был одним из главных полигонов для разработки теории Тектоники Литосферных Плит (ТЛП). Изданная в 1976 году тектоническая карта 1:1000 000 м-ба под редакцией академика А.В.Пейве и члена-корреспондента С.Н.Иванова была первой в мире картой, построенной на принципах ТЛП (Тектоника Урала 1977) (рис. 3). Упомянутая карта легла в основу целой серии региональных тектонических карт, среди которых аналогичная карта Евразии, две тектонические карты Европы, и более современная международная карта и монография по тектонике Северной, Центральной и Восточной Азии (Bulgatov et al., 2014). На этом процесс составления тектонических карт не остановится. Лежащие в их основе принципы необходимо развивать и совершенствовать в тесной связи с другими науками, и, в частности, с петрологией, литологией, геохимией, металлогенией.

До сравнительно недавнего времени практически белым пятном была С-В часть Урала, погруженная под Мезозойско-Кайнозойские отложения края Западно-Сибирской плиты. Работа по её изучению, крайне сложная в связи со скудностью данных по глубокому бурению, велась в течение десятилетий, и продолжается в содружестве с геофизиками. Лабораторией региональной геологии и геотектоники ИГГ УрО РАН издано несколько монографий на эту тему (Иванов и др. 2016 а, б, рис. 4); работа эта имеет перспективу в связи с проблемой нефтегазоности глубинных горизонтов и кристаллического фундамента Западно-Сибирской провинции.

Сильной стороной коллектива Института геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН является его ориентированность на развитие скважинной геофизики. Институт много лет является лидером по проведению скважинных исследований на рудных месторождениях, в том числе в разработке скважинной аппаратуры для сверхглубоких скважин. На основе изучения современного распределения температур горных пород в скважинах предложен геотермический метод реконструкции палеоклимата. Скважинный магнитометр-инклинометр МИ-3803М позволяет проводить литологическое расчленение разрезов скважин по контрастности магнитных свойств пластов.

Комплексная скважинная аппаратура МЭШ-42 предназначена для одновременных измерений модулей вертикальной и горизонтальной составляющих вектора геомагнитного поля, магнитного азимута, зенитного угла скважины, геоакустических сигналов в диапазоне частот 100-5000 Гц и электромагнитного излучения горных пород на частотах 40, 80 и 120 кГц. Для проблем нефтедобывающей отрасли в Институте геофизики УрО РАН также разрабатываются аппаратура и методы исследований. Скважинный прибор для измерения геоакустических сигналов ВН-4008М предназначен для выделения интервалов движения воды, нефти, газа в пластах-коллекторах. Метод каротажа сейсмоакустической эмиссии (САЭ), в нефтедобывающих скважинах позволяет решать основные геолого-промышленные задачи: определение характера насыщенности коллекторов, определение источников обводнения пластов-коллекторов, восстановление проницаемости продуктивного пласта.

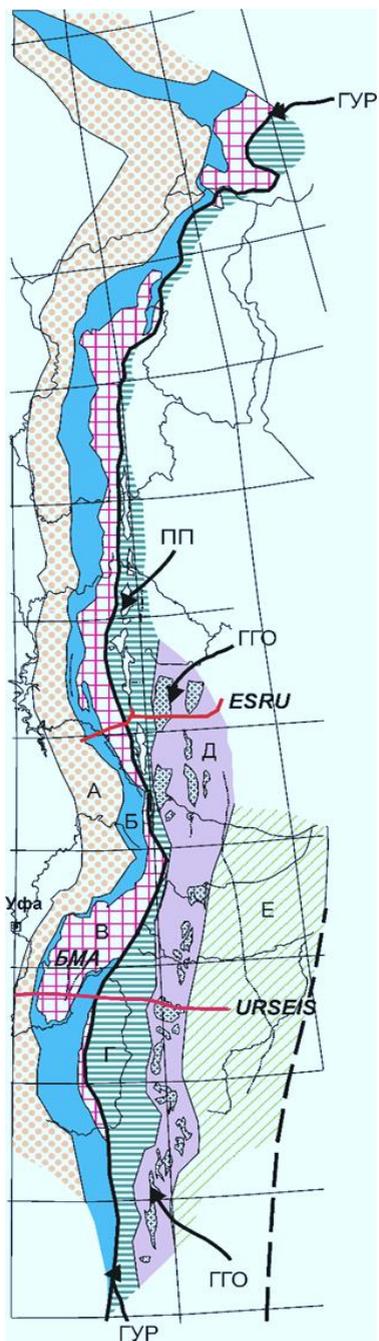


Рис. 3. Тектоническая схема Урала (Пучков, 2010). А-Предуральский краевой прогиб, Б- Западноуральская зона, В- Центрально-Уральская зона, Г- Тегило-Магнитогорская зона, Д- Восточно-Уральская зона, Е- Зауральская зона. ГУР-Главный Уральский разлом, ПП-Платиноносный пояс, ГГО- Главная гранитная ось Урала, URSEIS и ESRU- линии сейсмических профилей. БМА-Башкирский мегантиклинорий

Тектонические исследования всегда шли рука об руку с геофизическими. Совместно с геофизиками создавалась модель глубинного строения Урала. Очень успешными были 90-е и начало нулевых годов, когда на Урале в рамках комиссии ЕВРОПРОБА интернациональные группы геологов, естественно вместе с россиянами, проводили исследования, внося свою лепту в понимание геологии Урала и вводя определенные технологические инновации (Puchkov, 2016). В указанный период силами международного консорциума при участии уральских геологов, треста «Спецгеофизика» и Баженовской геофизической экспедиции, вкрест Урала были проведены три сейсмических трансекта, значительно уточнившие представления об архитектуре этого классического складчатого сооружения (Рыльков и др., 2013). К сожалению, сотрудники ИГ УдНЦ РАН, вследствие идеологических разногласий, связанных со спорами мобилистов и фиксистов, активного участия в этой работе, основанной на мобилистской идеологии (тектонике литосферных плит), не принимали.

Тектоника литосферных плит – это только часть тектонической парадигмы – представлений о процессах, деформациях и силах, действующих как на поверхности Земли, так и в её глубоких недрах. Другая часть парадигмы это учение о плюмах – восходящих конвективных потоках, зарождающихся на больших глубинах в мантии Земли.

Учение о плюмах зародилось почти одновременно с теорией тектоники литосферных плит, и значительную роль в выявлении современных плюмов играла сейсмотомография, находившая на больших глубинах в мантии Земли зоны разуплотнения, которые, как предполагалось, связаны с воздымающимися потоками, «мантийными диапирами». Однако на Урале по ряду объективных причин (в частности, неэффективность сейсмотомографии для древних структур) изучение

плюмов не проводилось (молчаливо допускалось их отсутствие). И только в последние 10 лет, уже после эпопеи с ЕВРОПРОБОЙ, положение изменилось (Puchkov, 2016). В истории Урала мною к настоящему времени выделено около десятка плюмовых и плюмоподобных событий. Для них характерно специфическое сочетание магматических формаций, с которыми связаны определенные типы месторождений. Слово «плюм» становится привычным. В прошлом году мною (Пучков, 2018) опубликована статья, подводящая промежуточные итоги этим исследованиям, с амбициозным названием: «Плюмы - новое слово в геологии Урала».

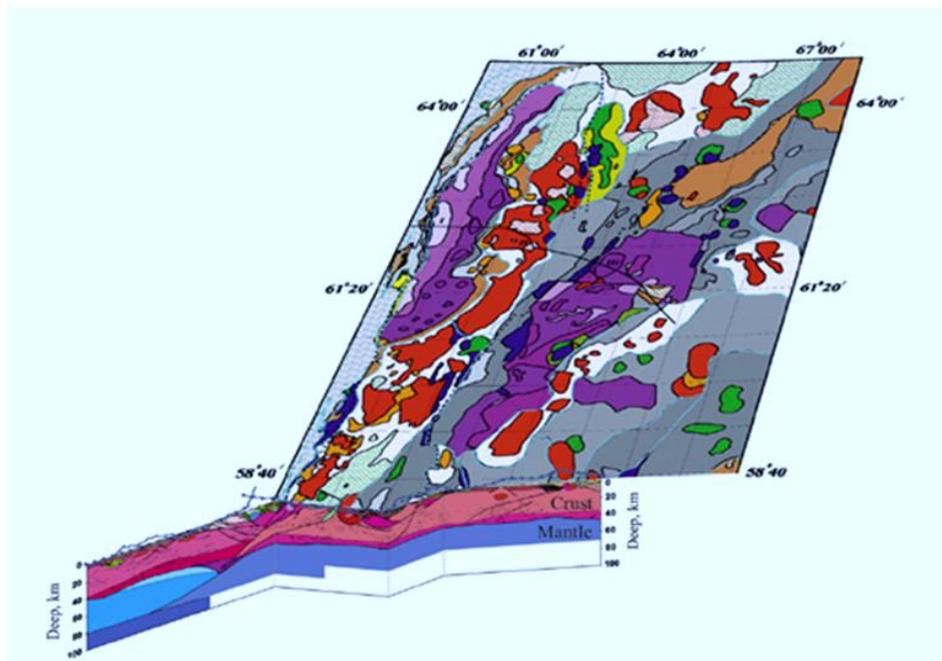


Рис. 4. Геологическая карта части уралид, скрытой под покровом мезозойско-кайнозойских отложений Западносибирского нефтегазоносного бассейна. Сопоставление её с сейсмическим профилем ESRU (Иванов и др., 2016а).

Металлогения и геология рудных месторождений. Ещё не так давно считалось, что если взять в качестве основы тектоническую карту, а на неё поместить значки месторождений, то такую карту уже можно называть металлогенической. Но это заблуждение. Тектоническая карта отражает итоговое состояние структуры земной коры, возникшее вследствие многочисленных и разнообразных событий - деформаций, магматизма, метаморфизма, последовательно накладывавшихся одно на другое, каждое со своей спецификой и своим металлогеническим ресурсом. Только последовательно снимая искажения, вызванные событиями предыдущих этапов, можно понять, в результате каких процессов возникло то или иное месторождение. Иными словами, для каждого этапа развития региона нужна своя тектоническая схема, характеризующая геодинамические условия в земной коре на момент образования того или иного месторождения. Эта концепция, на примере Урала, была развита в монографии по геологии Урала (Пучков, 2010), получившей премию им. академика А.Д. Архангельского, а затем в более сжатом и усовершенствованном виде, в статье, опубликованной в журнале *Ore Geology Review* (Puchkov, 2017).

Ниже будут охарактеризованы успехи и задачи в конкретных направлениях изучения месторождений полезных ископаемых Урала. Прежде всего, надо отметить значительный прогресс в изучении колчеданных (преимущественно пирит-халькопирит-сфалеритовых) месторождений, представляющих главное богатство Урала. Вопрос их генезиса долгое время оставался предметом дискуссии. Как сейчас ясно, правильную позицию заняли в ней академик А.Н. Заварицкий и его ученик член-корр. С.Н. Иванов, которые связывали колчеданные месторождения с вулканизмом. Окончательно точку в этом споре поставило открытие в современном океане так называемых курильщиков – источников прегретых водных паров и газов с тонко распыленными сульфидами и другими минералами. Эти гидротермальные источники образуют причудливые трубообразные сооружения, которые в дальнейшем разрушаются и перекрываются осадками, образуя линзообразные залежи (рис. 5).

Сравнение современных «курильщиков» и древних колчеданных месторождений показало их безусловное сходство. Дальнейшее изучение древних месторождений показало сложность и многообразие процессов, шедших в месторождениях и вокруг них (включая функционирование «оазисов» жизни на глубинах, где невозможен фотосинтез, а идет биодеструкция сульфидов). Современной наукой, при активном участии сотрудников ИМИН РАН, созданы основы теории литогенеза сульфидных и окolorудных металлоносных отложений колчеданных месторождений. Выдвинутая концепция раскрывает особенности взаимодействия гидротермальных, гидрогенных, биогенных и диагенетических процессов, и во многом, объясняет литолого-минералогическое разнообразие колчеданосных палеогидротермальных полей. Вместе с колчеданными, в группу родственных по генезису осадочно-вулканогенных отложений входят железозносные, марганцеворудные и золотоносные месторождения.

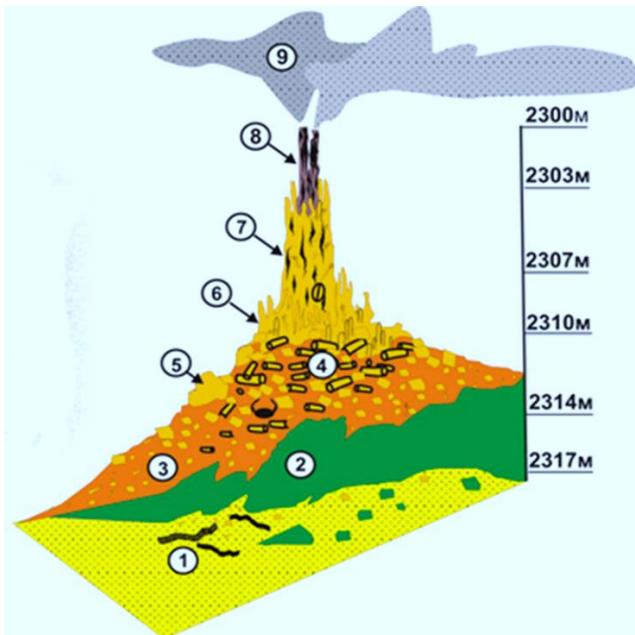


Рис. 5. Геологическая карта части уралид, скрытой под покровом мезозойско-кайнозойских отложений Западносибирского нефтегазоносного бассейна. Сопоставление её с сейсмическим профилем ESRU (Иванов и др., 2016а)

Открываются перспективы для развития этого направления литологии, применительно к другим типам гидротермально-осадочных рудных месторождений с применением новейших аналитических методов (в частности, метод LA-ICP-MS,

дающий представление о содержании не только основных компонентов руд, но и многих примесных элементов). Успехи в этом направлении подтверждаются продвижением его в международных и Российских проектах и получении международных премий (международная награда Б. Скиннера (2011 г.) за лучшую статью в журнале «Economic Geology») (Maslennikov et al., 2017).

Нельзя не отметить большие успехи в изучении колчеданных месторождений академической группой исследователей ИГ УНЦ РАН. Ими уточнена типизация месторождений по геохимическим признакам, выявлены закономерности их размещения в связи с историей древней зоны субдукции, указаны геохимические признаки наиболее богатых рудных скоплений (Серавкин и др., 2017)

В течение десятилетий сотрудники ИГГ УрО РАН исследуют месторождения Башкирского мегантиклинория, возникшего в конце палеозоя на месте глубокого (до 15 км) осадочного бассейна. Циркулировавшие в бассейне растворы, разогретые до 200-300 градусов, вследствие глубины бассейна и высокого теплового потока, вызванного плюмовым магматизмом, реагировали с породами бассейна и образовали целую серию месторождений, генезис которых длительное время был предметом дискуссии: существовала, например, точка зрения, что они образовались осадочным путем. Месторождения приурочены преимущественно к карбонатным породам – известнякам и доломитам (рис. 6).

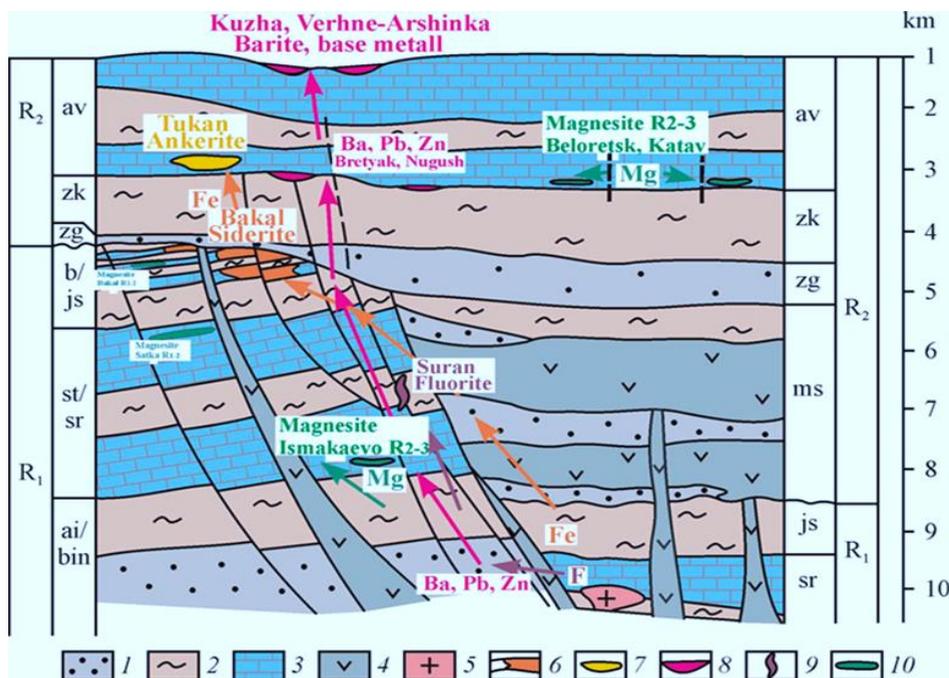


Рис. 6. Принципиальная схема образования стратиформных месторождений в рифейском осадочном бассейне (по М.Т. Крупенину):

- 1 – песчаники; 2 – сланцы; 3 – карбонаты; 4 – долериты; 5 – граниты; 6 – сидериты; 7 – анкериты; 8 – полиметаллы; 9 – флюориты; 10 – магнезиты. Стрелки – последовательно возникавшие восходящие горячие рассолы

Наиболее известны стратиформные месторождения кристаллического магнезита Южно-Уральской провинции и сидериты Бакальской группы месторождений,

являющиеся крупнейшим в мире скоплением карбонатов железа. Магнетитовые месторождения (в том числе Саткинское – основной в России источник периклаза для металлургических огнеупоров) локализованы в отложениях нижнего (саткинская и бакальская свиты) и среднего (авзянская свита) рифея, сидеритовые – только в нижнем рифее. Обогащенные железом гематит-гетитовые месторождения коры выветривания по сидеритам Бакала были особо ценной рудой.

Среди отложений авзянской свиты известно большое количество анкеритовых залежей (субстрат для эпигенетических месторождений бурого железняка и минеральных пигментов). В карбонатных отложениях нижнего рифея локализовано Суранское флюоритовое месторождение и ряд проявлений флюорита. К отложениям как нижнего, так и среднего рифея приурочено большое количество полиметаллических (Pb-Zn) и баритовых проявлений, в авзянской свите разведаны Кужинское (Pb-Zn-Ba) и Верхнеаршинское (Pb-Zn) месторождения. Западный склон Южного Урала обладает также и значительными ресурсами разнообразного нерудного сырья (шунгзитовые сланцы, керамическое и кварцевое сырье, апокарбонатные талькиты и др.

За последние годы благодаря использованию новых методов и идей (изучение газовой-жидких включений, радиоизотопные методы датирования процессов, разработка представлений о присутствии эвапоритов, которые впоследствии были растворены горячими водами, превратившимися в рассолы (Крупенин и др., 2011; Крупенин, 2019) удалось построить реалистичную модель последовательного образования месторождений Башкирского мегантиклинория на разных уровнях древнего бассейна. Вопросы, связанные с генезисом этих месторождений, далеко не исчерпаны. Исследователи намечают новые направления дальнейшего изучения генезиса стратиформных месторождений в осадочных толщах, связанные с пополнением базы данных по известным изотопным системам (Sr, Nd, U-Th-Pb) с целью уточнения возраста, оценки вклада мантийной и коровой компоненты в гидротермальном минералообразовании на рифтогенных (плюм-зависимых) тектоно-термальных этапах развития осадочного бассейна. Задачей будущего является применение новых изотопных систем (стабильные изотопы Mg, Fe и др.) и численного моделирования для верификации геолого-геохимических механизмов рудного процесса на эталонных месторождениях, сравнительного изучения подобных объектов в других регионах и для отложений другого возраста с целью дальнейшей разработки теории эпигенетического рудообразования в терригенно-карбонатных комплексах надрифтогенных осадочных бассейнов. Решение этих вопросов выходит, таким образом, далеко за рамки одного конкретного региона.

Особого внимания заслуживает разрабатываемая на Урале теория порфирирового рудообразования. Эти руды обычно не очень богаты по процентным содержаниям полезных компонентов, но зато могут образовывать очень значительные по запасам месторождения. Долгое время потенциал их недооценивался, однако в немалой мере благодаря исследованиям наших геологов (Грабежев и др., 2017, Серавкин и др., 2011) на Южном Урале были развернуты поисковые работы, которые привели к осязаемым результатам. В частности, сейчас в Челябинской области разрабатываются открытым способом такие месторождения как Томинское, Михеевское. Установлена длительная история рудоносного порфирирового магматизма – от позднего силура до среднего карбона (429-335 млн. лет), при омоложении с запада на восток. По данным Rb-Sr и U-Pb изотопии установлено, что все крупные месторождения связаны с магматизмом островодужных стадий формирования Урала и сосредоточены преимущественно в изверженных породах среднего состава. Охарактеризована вертикальная зональность медно-порфирировой колонны с образованием в ее верхней субвулканической части

промышленного серебряно-золотого эпитермального оруденения. Выделены наиболее перспективные зоны (протяженностью до 500 км) - Тагильская, Алапаевско-Сухоложско-Тахталимская, Зверевско-Первомайская на Среднем Урале, Увельская и Миасская – на Южном Урале (рис. 7). Обосновано положение о том, что Урал является новой и пока единственной крупной промышленной рениеносной Cu-Au-(Mo)-порфировой провинцией России. Установлена высокая степень концентрации рения в молибдените (до 0.1-0.3 мас. %) и в рудах (до 0.5-3.0 г/т) (Грабежев,2013).



Рис. 7. Схема размещения медно-порфирового оруденения в районах Среднего и Южного Урала (а) и их положение в пределах Урала (б). I–VI – главные мегаструктуры Урала. I, III, V – сиалические зоны: I – Центрально-Уральская, III – Восточно-Уральская, V – Зауральская; II, IV, VI – вулканические (островодужные) мегазоны: II – Тагил–Магнитогорск–Западные Мугуджары, IV – Западно-Уральская, VI – Валерьяновская/ Зеленым показаны сиалические, белым-вулканические мегазоны. 1-5 – состав (тип) руд, большими знаками показаны крупные месторождения (ныне разрабатываемые), мелкими – небольшие месторождения и крупные рудопоявления. Приведены абсолютные возрасты циркона из рудоносных гранитоидов для конкретных месторождений. Подробнее положение месторождений показано в работе (Сервакин и др.,2011).

Приведенные примеры показывают, тем не менее, что при всей огромной пользе, которую приносят специализированные исследования рудообразующих процессов, ученые-геологи сейчас как правило не открывают конкретные месторождения. Прошли те времена, когда на неизвестные выходы руды на поверхность геолог мог наткнуться в маршруте. Неоткрытые месторождения «прячутся» на глубине. Ученые лишь указывают направления поисков, возможные типы месторождений, делают предположения о характере их залегания. А находят месторождения

производственники – съёмщики и поисковики, вооруженные тяжелыми техническими средствами. Своеобразный анонимный форум матёрых съёмщиков и поисковиков был поведен недавно редакцией Уральского Геологического Журнала (Иванов, 2018). И вот что выясняется. Оптимальным типом геолого-поисковых работ является ГДП-50 (геологическое доизучение площади, м-ба 1: 50 000).

Наиболее четко общее мнение было выражено следующим образом: «на Урале все последние открытия месторождений были сделаны геологами-съёмщиками именно при проведении ГДП-50. Примеры навскидку: Западно-Озёрное, Светлинское, Парнокское, Гагаринское, Новогоднее-Монто, Воронцовское, Березняковское. Да и Сафьяновку А.В. Коровко открыл также при проведении ГДП-50. Известны только три примера открытия серьёзных объектов при проведении именно поисковых работ. Это Михеевка, которую открыли классическими геохимическими методами, далее – Томинское месторождение теми же методами и, наконец, Новоучалинское, которое было открыто в результате прослеживания т.н. «рудоносного уровня» в пределах конкретного палеовулкана». Сейчас, в связи с резким сокращением ассигнований, страна перешла на съёмку ГДП-200 (т. е. повторное построение геологических карт м-ба 200 000). «При ГДП-200 тоже есть шансы открыть нечто новое, но ассигнования так малы, а сроки столь коротки, что успеть что-то сделать или «начать раскрутку объекта» почти невозможно».

Иными словами, без заметного увеличения ассигнований не будет и желаемой отдачи ни от науки, ни от производственных организаций. В «Стратегии...», 2018» об этом говорится без обиняков. На стр. 12 в ней рассматриваются два сценария научно-технологического развития РФ. Первый – характеризуется «стагнацией относительного уровня расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы», что ведет к утрате технологической независимости и конкурентоспособности России. Второй требует «опережающего увеличения расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по отношению к валовому внутреннему продукту и приближения их уровня к показателям развитых в научно-технологическом отношении стран». Золотые слова. «Приближение уровня», кстати, означает увеличение примерно в 2-2,5 раза.

Заключение

Поиски и разведка полезных ископаемых – прерогатива производственных организаций; процесс, требующий огромных ассигнований - прежде всего, на горные и буровые работы. Перед академической наукой таких задач никогда не ставилось и таких денег она никогда не получала и не получит. Однако в исторической ретроспективе выработка целеуказаний, новых методик и подходов к поискам МПИ, прогнозирование месторождений и поддержание научной культуры производства всегда были целью академической науки и её реальным вкладом. Одна из задач, обозначенных в «Стратегии ...2018», звучит так: «обеспечить рост влияния науки на технологическую культуру в России». Это относится и ко всем Институтам в сфере наук о Земле. Что касается ИГТ УрО РАН, в котором я работаю, то он всегда находился и находится в авангарде этих работ и смотрит в будущее с надеждой и умеренным оптимизмом.

Литература

1. *Алексеев А.С., Горева Н.В., Кулагина Е.И., Пучков В.Н.* Каменноугольная система и ее «золотые гвозди» // *Природа* № 7. 2010. С. 42-49.
2. *Грабежжев А.И.* Рений в медно-порфириновых месторождениях Урала // *Геология рудных месторождений*. 2013. № 1. С. 16-32.

3. *Грабежьев А.И., Шардакова Г.Ю., Ронкин Ю.Л., Азовскова О.Б.* Систематика U-Pb возрастов цирконов из гранитоидов медно-порфировых месторождений Урала. Литосфера. 2017. 17(5). С. 113-126.
4. *Иванов К.С.* Проблемы поисков рудных месторождений и геологической съемки на примере Урала // Уральский геологический журнал. 2018. № 2 (123). С. 18-30.
5. *Иванов К.С., Писецкий В.Б., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Погромская О.Э.* Геологическое строение и флюидодинамика фундамента Западной Сибири (на востоке ХМАО). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2016а. 242 с.
6. *Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ерохин Ю.В., Пономарев В.С.* Геологическое строение фундамента Приуральской части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016б. 302с.
7. *Крупенин М.Т., Кузнецов А.Б., Крылов Д.П., Маслов А.В.* Стабильные изотопы кислорода и углерода как индикаторы магнезиального метасоматоза в отложениях нижнего рифея Южного Урала // Доклады РАН. 2011. Т. 439. № 5. С. 660-664.
8. *Крупенин М.Т.* Исчезнувшие эвапориты в типовом разрезе нижнего рифея (признаки былого присутствия, возможные механизмы растворения) // Осадочная геология Урала и прилегающих регионов: сегодня и завтра. Тр. 12-го Уральского литологического совещания. Екатеринбург. 2018. С. 144-147.
9. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис. 2010. 280 с.
10. *Пучков В.Н.* Плюмы – новое слово в геологии Урала // Литосфера. 2018. №4. С. 483-499.
11. *Пучков В.Н.* Особенности геологического строения геопарка Тратау // Геологический Вестник. 2019. №2, в печати.
12. *Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Сергеева Н.Д.* Обновленная схема расчленения стратотипического разреза рифея // Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России / Отв. ред. Т.Ю. Толмачева: Мат. Межвед. рабочего совещ. Санкт-Петербург, 17-20 окт. 2016 г. СПб: ВСЕГЕИ. 2016. С. 137-139.
13. *Рыльков С.А., Рыбалка А.В., Иванов К.С.* Глубинное строение и металлогения Урала: сопоставление глубинной структуры Южного, Среднего и Полярного Урала // Литосфера. 2013. № 1. С. 3-16.
14. *Серавкин И.Б., Минабаева К.В., Родичева З.И.* Медно-порфировое оруденение Южного Урала (обзор). Геологический сборник. 2011. № 9. Уфа, ИГ УНЦ РАН. С. 186-200.
15. *Серавкин И.Б., Косарев А.М., Пучков В.Н.* Геодинамические условия формирования колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала и критерии для их поисков // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 3. С. 220-237.
16. *Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Ратов А.А., Козлова О.В.* Стратиграфическая корреляция отложений рифея Волго-Уральской области и Южного Урала и их пространственное взаимоотношение в зоне сопряжения платформенных и складчатых структур по сейсмическим материалам // Геологический Вестник. 2018. № 2. С. 79-95.
17. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года.
18. *Сунгатуллин Р.Х., Сунгатуллина Г.М., Мизенс Г.А.* Геохимия отложений Приуральского отдела (на примере разрезов Мечетлино и Дальний Тюлькас, Предуральский прогиб) // Осадочная геология Урала и прилегающих регионов: сегодня и завтра. Тр. 12-го Уральского литологического совещания. Екатеринбург, 2018. С.342-343.
19. Тектоника Урала / А.В. Пейве, С.Н. Иванов, В.М. Нечеухин, А.С. Перфильев, В.Н. Пучков. М.: Наука, 1977. 119 с.
20. *Яковлев В.Л., Аникина Е.В., Козлова И.А., Корнилков С.В.* О научном сопровождении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. // Литосфера. 2019. Т. 19. №2. С. 337-339.
21. *Bulgatov A.N., Bingwei Chen, Gordienko I.V., Ivanov K.S., Kheraskova T.N., KimBokChul, Koroteev V.A., Kurchavov A.M., Petrov O.V., Pospelov I.I., Puchkov V.N., RenLiudong, Samygin S.G., Shokalsky S.P., Sokolov S.D., Tomurtogoo O.* Tectonics of Northern, Central and Eastern Asia. (Explanatory Note to the Tectonic map of Northern–Central–Eastern Asia and Adjacent Areas at scale 1:2,500,000). SPb.: VSEGEI Printing House, 2014. 192 p.
22. *Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., Danyushevsky L.V., Herrington R.J., Ayupova N.R., Zaykov V.V., Lein A.Yu., Tseluyko A.S., Melekestseva I. Yu., Tessalina S.G.* Chimneys

in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: Mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers // Ore Geol. Rev., 2017. Vol.18 №2. P.64-106.

23. *Puchkov V.N.* New data on geology of the Southern Urals: a concise summary of research after the period of EUROPROBE activity. Solid Earth, 7, 1269-1280, 2016.

24. *Puchkov V.N.* General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. Ore Geology Reviews (2017). 85. P. 4-29.

С.В. Корнилков¹

О стратегии производства и потребления сырьевых ресурсов в условиях осложнения геологического строения, ухудшения качества и доступности минерально-сырьевой базы Урала

За более, чем 300-летнюю историю развития горного дела и металлургии, значительная часть недровых богатств Урала отработана, предстоит освоение запасов разрабатываемых месторождений на глубоких горизонтах, развитие сырьевой базы северных и арктических регионов России, в том числе Урала, Сибири и Дальнего Востока. Поэтому перед научным сообществом ставится ответственная задача по научному сопровождению вопросов «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации», утвержденной 22 декабря 2019 г., целью развития которой является создание условий для устойчивого обеспечения минеральным сырьем социально-экономического развития и поддержания достаточного уровня экономической и энергетической безопасности Российской Федерации.

Наличие минеральных ресурсов в недрах останется одним из важнейших конкурентных преимуществ российской экономики, определяющим место и роль страны на международной арене, поэтому в ходе реализации Стратегии предусматривается:

- развитие высоколиквидной минерально-сырьевой базы для действующих и формируемых минерально-сырьевых центров;

- обеспечение рационального использования созданной минерально-сырьевой базы за счет вовлечения в эксплуатацию трудноизвлекаемых запасов нефти и газа, неразрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых, создания условий для освоения техногенных месторождений, извлечения ценных компонентов из вскрышных, вмещающих горных пород, а также попутных промышленных вод.

Приоритетными направлениями работ в период до 2035 года будут являться:

- геологоразведочные работы в районах, перспективных в отношении выявления различных видов минерального сырья;

- поиски месторождений с использованием современных технологий и новых комплексных подходов, направленных на выявление месторождений с качественными рудами;

- оценка и освоение ранее открытых, но неразрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых с учетом размещения и перспектив развития федеральной инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры;

- разработка и внедрение технологий комплексного использования сырья, попутного извлечения полезных ископаемых из вскрышных и вмещающих пород, а также при переработке руд и отходов недропользования;

¹ Директор Института горного дела УрО РАН, доктор технических наук

- вовлечение в освоение ранее выявленных месторождений с бедными и труднообогатимыми рудами с использованием новых технологических решений.

Для металлургического комплекса Урала, испытывающего острую нехватку высококачественного сырья, поддержание и восполнение минерально-сырьевой базы, в том числе за счет местных ресурсов, особенно актуальны. В настоящее время на промышленный Урал завозится более 60 млн. т различных видов полезных ископаемых, в том числе по дорогостоящему импорту.

В целом по России отмечается стабилизация объемов поставок железорудного сырья (ЖРС) на металлургические предприятия и на экспорт на уровне 101 – 107 млн. т/год. Рост объемов добычи сырой руды (до 2-7 % ежегодно) в первую очередь обусловлен снижением ее качества в недрах и сокращением выхода товарной руды (рис. 1) при существующих технологиях обогащения. Указанная негативная тенденция просматривается на протяжении последних лет и приводит к росту удельных затрат на производство железорудного сырья.

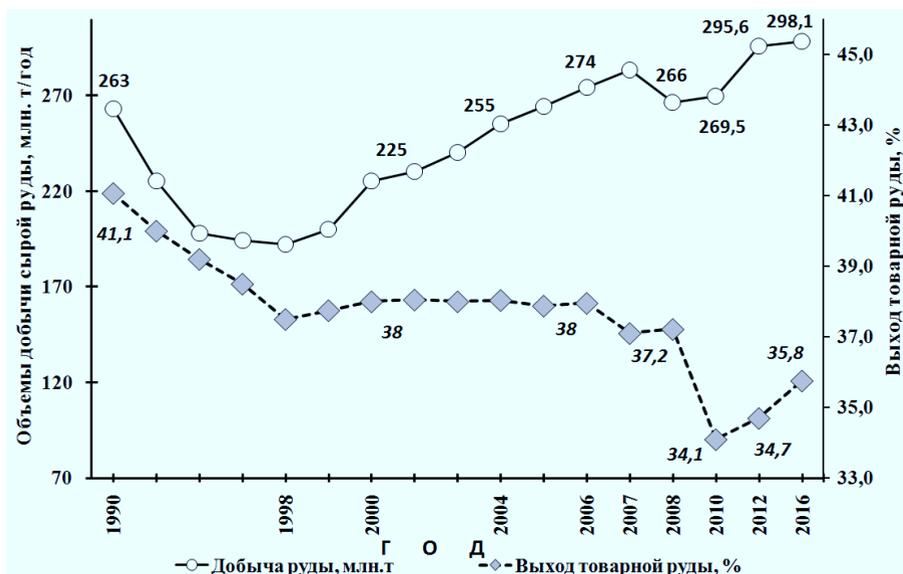


Рис. 1. Динамика добычи сырой железной руды и выхода товарной руды по Российской Федерации за 1990-2016 гг.

Следует отметить, что минерально-сырьевая база отрасли, региона, предприятия не является только совокупностью разведанных на определенной территории минеральных объектов (месторождений), т.к. их наличие еще не гарантирует появление промпродукта или конечной продукции с требуемыми потребительскими свойствами. Даже наличие апробированных балансовых запасов полезных ископаемых совсем не означает, что они должны или будут отрабатываться в обозримом будущем. Поэтому под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также и средств их добычи и переработки. Учитывая, что дальнейшее развитие минерально-сырьевой базы Урала зависит от возможности освоения месторождений Севера, к числу ожидаемых сложностей следует отнести: природно-климатические условия; отсутствие энергетической и транспортной инфраструктуры; экологические проблемы, наличие рабочей силы, сырья и материалов.

Минерально-сырьевая база Уральских предприятий сокращается, но не истощается. Она или недоразведана, или не обеспечена современной проектной документацией, или нуждается в совершенствовании технологии добычи и переработки.

В этих условиях применительно к условиям уральского региона в рамках поставленных государственных задач необходима разработка стратегии для реализации приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии, промышленности строительных материалов и др., основанной на российских и мировых тенденциях потребления сырьевых ресурсов в условиях ухудшения качества и доступности минерально-сырьевой базы, включающей:

- научное обоснование технико-технологических и организационно-экономических мероприятий, обеспечивающих доизучение и комплексное освоение георесурсов Уральского региона, в т.ч. Северного и Полярного Урала;
- создание системы учета и мониторинга состояния техногенных образований, разработка комплекса технологий по ликвидации, консервации, переработке и утилизации отходов горного и металлургического производства для обеспечения экологической безопасности промышленных регионов Урала
- создание системы геологического, геофизического и геомеханического мониторинга и комплексной оценки состояния подработанных территорий для обеспечения безопасной и комфортной жизнедеятельности городских агломераций, безопасности природо- и недропользования, а также предотвращения и развития техногенных катастроф.

В качестве общей базы для определения баланса потребления и производства минеральных ресурсов, обеспечивающих функционирование металлургического производства на территории Урала, предлагается использовать схему, в основу которой положены требования к исходному сырью (рис. 2).

Геологическая изученность ряда уральских регионов, в основном северных и приполярных, явно недостаточна для дальнейшего их промышленного освоения. Большинство технико-экономических предложений на стадии конкурсов на получение лицензий на право пользования недрами и бизнес-планов предполагаемого финансирования разработки основываются на запасах категории C_2 или, в большей мере - прогнозных ресурсах. Поэтому фактически на порядок возрастает и риск освоения таких минеральных объектов.

Исходя из этого современный этап развития добывающих отраслей уральской промышленности требует:

- поддержания и развития минерально-сырьевой базы перерабатывающих предприятий;
- концентрации сил и средств при реализации стратегических задач комплексного развития новых территорий, в т.ч. в сложных природно-климатических условиях;
- кооперации регионов в целях развития приоритетных направлений промышленной и экономической политики.

В задачу институтов ОУС по наукам о Земле Уро РАН входит содействие:

- увеличению инвестиционной привлекательности геологоразведочных работ;
- росту качества прогнозирования и поиск новых месторождений;
- повышению эффективности освоения известных, в том числе неразрабатываемых, месторождений путем внедрения современных технологий переработки, обогащения и комплексного извлечения полезных ископаемых.

Выполненные технико-экономические обоснования и проекты свидетельствуют о том, что при создании минерально-сырьевой базы организация промышленной и социальной инфраструктуры в труднодоступных регионах является самым затратным

элементом, поэтому основой стратегии разработки технико-технологических и организационно-экономических мероприятий, обеспечивающих доизучение и комплексное освоение георесурсов Уральского региона, в т.ч. Северного и Полярного Урала, случаях является комплексность освоения недр при одновременном налаживании открытой инфраструктуры эксплуатирующих предприятий, в наибольшей степени интегрированных в общую экономическую структуру региона и страны в целом.

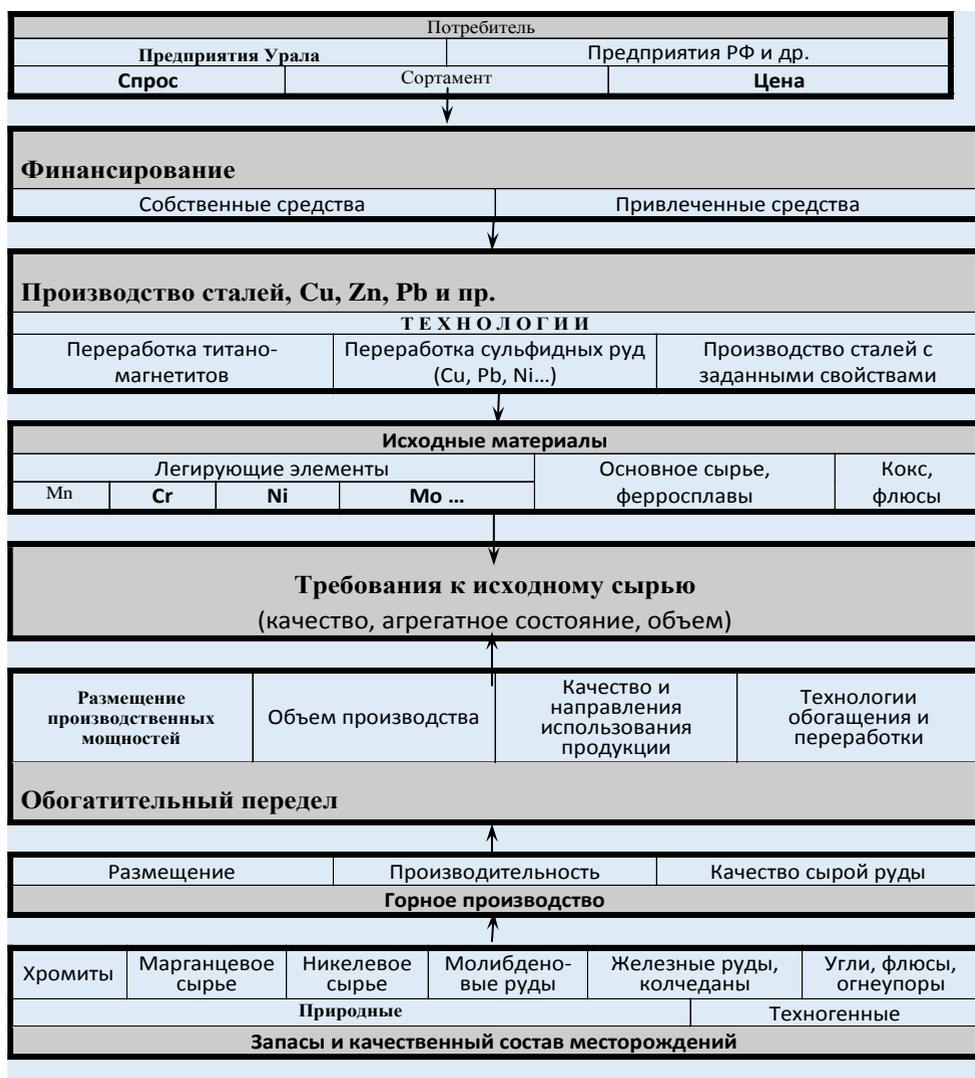


Рис. 2. Схема к определению баланса потребления и производства минеральных ресурсов

Исходя из этого, важным принципом освоения сырьевых ресурсов Приполярного и Полярного Урала и других труднодоступных регионов и основой для организации ведения горных и геологоразведочных работ является принцип комплексного освоения территорий, позволяющий системно решать проблемы развития региона. В

соответствии с ним предусматривается осваивать месторождения по их местонахождению на территории определенного административного образования одной управляющей компанией – холдинговой структурой, ответственной за решение задач развития региона. Это позволит сконцентрировать все ресурсы; выстроить рациональную тактику и график освоения и изучения недр региона; в комплексе решить проблемы развития региональной промышленной и социальной инфраструктуры.

Значительным резервом расширения сырьевой базы медной подотрасли может служить вовлечение в разработку забалансовых руд. По данным Уралнедра учтенные запасы медьсодержащих забалансовых руд по 16 объектам Свердловской области колеблются в пределах 0,106-159,3 млн. т при содержании в них меди – 0,22-1,54% (наиболее крупный объект – Волковское месторождение). По 8 объектам Челябинской области запасы забалансовых руд составляют от 0,066 до 200,6 млн. т при содержании меди – 0,2-1,22% (наиболее крупное – Томинское месторождение).

Компенсация ухудшения качества минеральных ресурсов в недрах и повышение степени использования забалансовых руд может быть достигнуто организацией рудоподготовки на местах ведения горных работ, которая значительно уменьшает риски реализации инвестиционных проектов за счет общего снижения совокупных эксплуатационных затрат, обеспечивающегося улучшением логистической составляющей перемещаемых и перерабатываемых объемов горной массы, а также некоторым сокращением капиталоемкости горно-обогатительного производства.

Результаты опытно-промышленных испытаний свидетельствуют о том, после рентгенорадиометрической сепарации содержание меди в переработанных рудах повышается, что позволяет говорить о потенциальной возможности перевода их в разряд балансовых. Сброс в хвосты на стадии сепарации не менее 23-67% горной массы позволяет резко сократить объемы перевозок полученного промпродукта к местам глубокого обогащения, что в значительной мере улучшает экономические показатели производства концентрата.

Воспроизводство минерально-сырьевой базы Урала по ряду полезных ископаемых связывается, в том числе, с развитием минерально-сырьевого потенциала неосвоенных территорий Уральского Севера. Главными принципами, которые следует реализовать при формировании программы работ по развитию минерально-сырьевой базы районов со сложными природно-климатическими условиями, рекомендуется считать:

- целевой поиск полезных ископаемых, обеспечивающих реализацию приоритетных программ на оцениваемой территории (Легированные стали, Энергетика, Машиностроение и пр.);

- поэтапную ускоренную разведку и ввод мощностей, сопровождающиеся экспрессными геолого-технологическими расчетами и обоснованиями, комплексное освоение недр;

- создание системы геоинформационного обеспечения с целью моделирования месторождений и программных комплексов для решения технологических, технических, экологических, экономических и др. задач проектирования и планирования горных работ;

- комплексное освоение территорий, создание управляющей компании - координатора проекта;

- формирование открытой инфраструктуры создаваемых предприятий, потребляющих минимум трудовых ресурсов.

Строительство автомобильных и железных дорог является приоритетным направлением в стратегии освоения месторождений полезных ископаемых Северного, Приполярного Урала и Арктических территорий. Оно осложняется не только климатическими, экологическими и географическими проблемами: проектируемые

трассы должны пересечь путепроводами множество ручьев, рек и крупных рек. На возведение инженерных сооружений повсеместно оказывает влияние и наличие тектонически нарушенных зон, обладающих геодинамической подвижностью.

Инженерно-геологические процессы и явления, развивающиеся на приарктических территориях, характеризуются недостаточной теплообеспеченностью, избыточным увлажнением, наличие многолетнемерзлых пород, создают благоприятную обстановку для развития широкого ряда экзогенных процессов и должны изучаться параллельно с изучением недр, поскольку разработка месторождений неэффективна при отсутствии развитой транспортной инфраструктуры (рис. 3).

При создании системы учета и мониторинга состояния техногенных образований, а также разработке комплекса технологий по ликвидации, консервации, переработке и утилизации отходов горного и металлургического производства необходимо иметь в виду следующие основные причины сдерживания переработки техногенных образований:

- при извлечении моносырья (железа, меди, золота, никеля и т.п.) количество вторичных отходов, практически не сокращается, а в ряде случаев – увеличивается;
- опасность отходов, образовавшихся в результате переработки, техногенного сырья, как правило увеличивается;
- площади дополнительно изымаемых земель сопоставимы по величине с ранее нарушенными;
- переработка техногенных образований в наибольшей степени чувствительна к изменению действующих цен на извлекаемый металл.



Рис. 3. Автодорога: Парнокское месторождение марганцевых руд – Инта

В качестве критериев для оценки конечного результата переработки техногенно-минеральных образований, помимо очевидной экономической эффективности проекта, следует считать:

- существенное сокращение (ликвидация) отходов, образовавшихся в процессе вторичной переработки техногенного сырья, с одновременным сохранением или снижением класса их опасности;
- наличие устойчивых потребителей и долгосрочной потребности в комплексных поставках продукции;

- возможность налаживания параллельно-последовательной рекультивации нарушенных земель;

- наличие инженерных мероприятий, предотвращающих распространение не только текущих, но и прогнозируемых загрязнений, реализующихся в течение всего срока отработки техногенного объекта.

Для практических целей по хозяйственному назначению техногенные образования рекомендуется разделять на:

- подлежащие переработке, в т.ч. глубокой - при доказанной экономической целесообразности;

- консервируемые – при наличии в них ценных компонентов и отсутствии эффективных технологий переработки;

- облагораживаемые – рекультивируемые под рекреационные зоны и т.п. без получения полезного продукта.

Во всех случаях подлежащие переработке и консервируемые техногенные образования должны быть нейтрализованы и только после этого – рекультивированы.

Переработка и рекультивация техногенных объектов характеризуется повышенными экономическими рисками, поскольку распределение минеральных ресурсов в них, как правило, полагается неустойчивым и непредсказуемым. По структуре и вещественному составу такие образования также неоднородны.

Тем не менее накопление и формирование техногенного месторождения происходит достаточно закономерно, поскольку применяемые технологии производства продукции, процессы образования отходов, а также процессы их складирования поддаются типизации и являются достаточно стандартными. Дополнительным элементом прогноза является использование изученных закономерностей накопления и локализации в теле техногенного объекта полезных компонентов, что является одной из основных задач геологического изучения.

Целям стандартизации и типизации условий переработки техногенно-минеральных образований в значительной мере могут послужить геоинформационные системы (ГИС) оценки и анализа таких объектов, содержащие разнообразные сведения, поэтапно накапливающиеся и обеспечивающие информационное обеспечение на каждом из этапов принятия решений. Обобщенная структура таких геоинформационных систем должна основываться на аккумулировании и обработке геоинформационных, мультимедийных (данные сканирования, аудио- и видеосъемок и пр.), а также текстовых и табличных материалов.

Сведения, полученные в результате целевого комплексного анализа содержащихся в ГИС данных о техногенно-минеральных объектах, дают возможность оценки объема возобновляемых ресурсов и общей стратегии экологической реабилитации нарушенных территорий, прогноза масштабов техногенного загрязнения и оценки санитарно-гигиенического благополучия промышленных регионов, целевого планирования бюджетных средств и средств от предпринимательской деятельности, расходуемых в целях предотвращения ущерба, наносимого окружающей среде.

На основании выполненных совместно с Институтом металлургии УрО РАН комплексных исследований следует отметить тот факт, что целевое планирование развития горно-металлургического комплекса УрФО и системный прогноз технологических и экологических последствий развития железорудной базы уральских металлургических предприятий следует связывать с отработкой титано-магнетитовых руд.

Испытания целесообразности переработки высокотитанистого концентрата по схеме «металлизация – электроплавка» свидетельствуют о том, что из полученного материала возможно получение металлизированных окатышей с содержанием железа

общего – 79,79%, TiO_2 – 4,21% и V_2O_5 – 0,86%. Лабораторные опыты показали, что их плавка приведет к образованию шлака с содержанием TiO_2 (22,88 %), недостаточным для эффективного получения из него пигментного диоксида титана или титановой губки. Предварительные расчеты показывают, что минимальным содержанием TiO_2 в концентрате, при котором содержание диоксида титана в шлаке будет приемлемым для дальнейшей переработки, не должно быть менее 7%.

Таким образом появляется возможность эффективного использования текущих шлаков металлургической переработки титано-магнетитовых концентратов.

Эти условия могут быть реализованы за счет отдельной обработки высокотитанистой части Гусевгорского месторождения и, особенно, Собственно Качканарского месторождения титано-магнетитов. Кроме того, подобный подход может быть использован при эксплуатации Медведевского и Копанского месторождений, начало обработки которых сдерживается в том числе и по условиям нахождения в их рудах повышенных концентраций TiO_2 .

Таким образом, глубокая переработка текущих шлаков титаномагнетитовых концентратов, полученных из руд, выделенных по природно-технологическому типу, и организацией производства металлургических окатышей создает новую сырьевую базу для получения ванадиевого и титанового сырья.

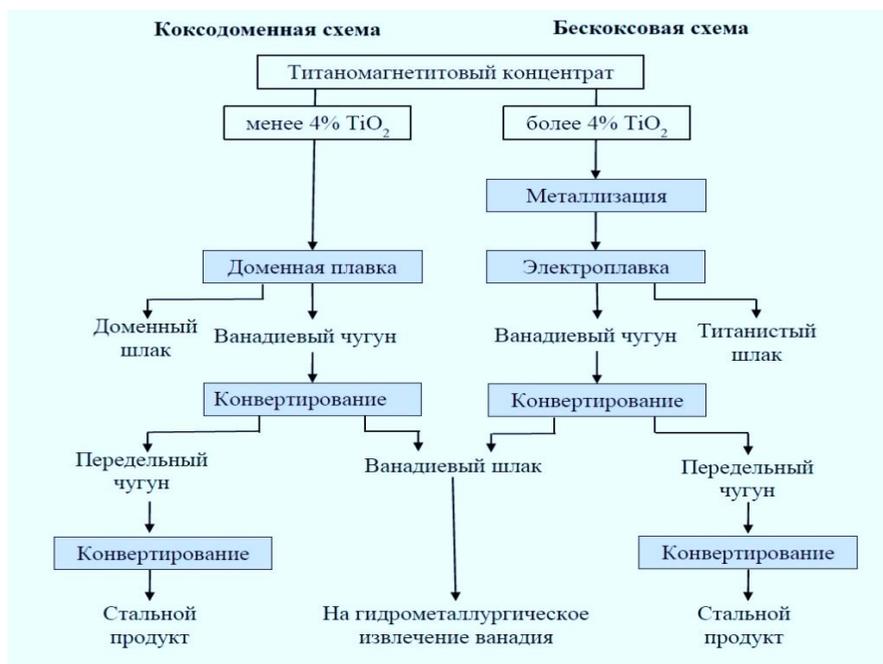


Рис. 4. Схемы переработки титаномагнетитовых концентратов

Установлено, что при затоплении рудника шахтные воды являются обеспеченным источником цветных металлов и редкоземельных элементов. Концентрации ряда компонентов превышают промышленные содержания в десятки раз, особенно на начальном этапе затопления. До настоящего времени (через 10 лет после затопления рудника и образования техногенного водоема) цинк, марганец, кобальт, редкоземельные элементы находятся в шахтной воде в концентрациях, в десятки раз выше промышленных.

Все эти запасы могут быть извлечены с помощью отсадки на ионообменных смолах или на активированном угле. Внедрение технологий добычи цветных металлов и редкоземельных элементов из шахтных вод позволит снизить экологическую нагрузку на гидросферу, уменьшить платежи за ущерб и получить дополнительный доход при разработке месторождений гидроминерального сырья, сформированных на затопленных рудниках.

Задача создания системы геологического, геофизического и геомеханического мониторинга и комплексной оценки состояния подработанных территорий для обеспечения безопасной и комфортной жизнедеятельности городских агломераций, безопасности природо- и недропользования, предотвращения и развития техногенных катастроф актуальна для всего уральского горнопромышленного региона.

Анализ подходов к обеспечению конкурентоспособности уральских горных предприятий свидетельствует о том, что основными направлениями их инновационного развития и модернизации производства, предусматриваемыми соответствующими инвестиционными программами, являются:

- мероприятия по освоению новых и реконструкции действующих производств с изменением параметров систем разработки и вскрытия;
- комплексное использование минерального сырья и освоение выпуска новых видов продукции;
- внедрение современного энергоэффективного оборудования, в т.ч. большой единичной мощности;
- обеспечение снижения энергоемкости и трудоемкости получения готовой продукции;
- инновационные решения в области управления качеством минерального сырья;
- энергоэффективная комплексная глубокая переработка техногенного сырья;
- автоматизированное управление и контроль за технологическими процессами.
- оценка современного состояния техники и технологии горного производства на действующих предприятиях руд черных и цветных металлов, неметаллического рудного сырья и установление тенденций изменения технико-экономических показателей.

К числу актуальных направлений дальнейших исследований проблем освоения недр следует отнести изучение переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий оценки, добычи и предварительной рудоподготовки минерального сырья.

Совершенствование параметров технологических процессов горного производства для обеспечения стабилизации его показателей с ростом глубины карьеров при ухудшении условий эксплуатации прежде всего обеспечивается за счет технического перевооружения и модернизации геотехники, обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение при ведении горных работ. При этом следует исходить из тенденций целенаправленной типизации технологических схем и производственных процессов, ориентированных на наибольшее соответствие реальным горно-геологическим и горнотехническим условиям ведения работ, т.е. использовать специализированные горные комплексы.

Литература

1. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (утв. 22 декабря 2019 г., № 2914-р).
2. Яковлев В.Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С.В. Корнилов, И.В. Соколов; под ред. В. Л. Яковлева; ИГД УрО РАН. Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 360 с.

А.А. Чибилёв¹

Оптимизация пространственного развития степных регионов европейской России и Урала на основе конвергентных и природоподобных технологий в условиях современных природно-климатических изменений

Более 30 лет назад, в период становления Уральского отделения АН СССР, в Оренбурге были созданы предпосылки образования фундаментально-научного учреждения специализирующегося на проблематике степной зоны, реализовавшиеся в 1996 г. созданием Института степи УрО РАН – первого на постсоветском пространстве и одного из немногих в мире. Актуальность его создания была обусловлена тем, что важнейшая в аграрном, социально-экономическом, культурно-историческом и природном отношениях степная зона не имела ориентированного на неё полноценного академического научно-исследовательского института, в отличие от лесной зоны, пустынных зон и Арктики.

Проект «Институт степи» был задуман тогда, когда большая часть Степной Евразии – степи Молдавии, Украины, России и Казахстана ещё входили в состав СССР. Деятельность Института степи, несмотря на то, что его доля в масштабах УрО РАН составляет менее 1%, благодаря поддержке РАН и Русского географического общества охватывает сегодня всё пространство Степной Евразии от Венгрии до Монголии. На этом пространстве Институт степи продолжает оставаться единственным научным учреждением, целенаправленно изучающим географические и геоэкологические проблемы степных регионов, острота которых для России продолжает сохраняться и требовать научного решения.

На новом этапе развития Российской академии наук Институт степи УрО РАН разрабатывается проект «Оптимизация пространственного развития степных регионов Европейской России и Урала на основе природоподобных технологий», который охватывает российскую часть Степной Евразии, расположенную между Украиной и Казахстаном. Сюда входят 13 субъектов Российской Федерации общей площадью более 1 млн км² и населением 36,4 млн чел., что составляет, соответственно, 7 и 25% от показателей в целом по РФ. Это главная житница России и основной отечественный экспортёр зерна на мировой рынок, где сосредоточены основные посевные площади и валовые сборы. Однако, в наиболее благоприятных в агроклиматическом отношении субъектах РФ распашка агроландшафтов достигает 80% и более. В зонах земледелия особого риска продолжается обработка миллионов гектаров малопродуктивной пашни, при этом залежные земли представляют собой крупный разнородный земельный фонд, где представлен весь экологический спектр залежей от бурьянистых до вторичных степей с фактически полным набором краснокнижных видов.

Целью вышеназванного проекта является разработка конвергентных и природоподобных технологий с целью оптимизации пространственного развития южных регионов Европейской России и Урала в условиях климатических и антропогенных изменений.

Достижение поставленной цели предполагается путём решения следующих задач:

- 1) анализ существующих и прогнозируемых вызовов для пространственного развития степных и постстепных регионов европейской России и Урала;
- 2) апробация современных геоинформационных, цифровых, конвергентных методов изучения природной среды с целью оптимизации природопользования;

¹ Научный руководитель Института степи УрО РАН, Вице-президент Русского географического общества, академик РАН

- 3) разработка альтернативных природоподобных технологий земле- и недропользования на основе каркасного территориального планирования;
- 4) обобщение лучшего опыта и разработка типовых схем оптимизации природопользования на примере ключевых регионов и муниципальных образований;
- 5) разработка моделей устойчивого природопользования степных регионов с учетом принципов непрерывности экологических сетей и каркасных схем пространственного развития.

На данном этапе получены следующие основные результаты, имеющие практическое значение.

I. Выявлены и продолжают изучаться современные вызовы пространственного развития Юга Европейской части России, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Современные вызовы пространственного развития Юга Европейской части России

№	Современные вызовы	Перспективные пути их решения
I	Негативные последствия аграрного и промышленного воздействия на ландшафты	Разработка и внедрение природоподобных и конвергентных технологий в сельском хозяйстве, лесомелиораций, водном хозяйстве и в практике недропользования
II	Сжатие освоенного пространства, образование малодетальных зон и невостребованного земельного фонда	Разработка фундаментальных основ каркасного принципа пространственного развития как фактора устойчивости природно-хозяйственных систем. Выявление и внедрение альтернативных форм природопользования, оптимизация эколого-стабилизирующих функций невостребованного земельного фонда
III	Межрегиональные контрасты, приводящие к формированию депрессивных регионов	Разработка принципов пространственной справедливости, сглаживание диспропорций между регионами
IV	Слабая инфраструктурная обустроенность большей части субрегиона	Выявление новых приоритетов пространственного развития (Великий Шелковый Путь, поиск альтернативных видов хозяйственной деятельности, туризм)
V	Геополитические угрозы и актуальные проблемы безопасности приграничных территорий	Разработка принципов устойчивого развития приграничных территорий, трансграничных территориальных систем (бассейны рек, транспортные коммуникации и т.д.). Использование социально-экономического эффекта приграничности и эффекта повышенного природного разнообразия приграничных территорий для оптимизации интеграционных процессов

II. На основе комплексной оценки геоэкологического состояния ландшафтов степных регионов Европейской России и Урала выделены основные проблемы, присущие современному природопользованию региона (рис.1):

1) антропогенная фрагментация условно-естественных (пастбищ и сенокосов) и эталонных (природные резерваты) степных ландшафтов, «островизация» экосистем, отсутствие экологической связанности пространства;

2) деградация степных травянистых биоценозов в результате воздействия перевыпаса, техногенной нагрузки, засорения продуктами свалок и отходов производства;

3) антропогенное опустынивание – формирование обширных антропогенно-модифицированных пустошей на неиспользуемых землях;

4) снижение плодородия земель в результате применения почвозатратных технологий;

5) повсеместное уничтожение очагов повышенного ландшафтного и биологического разнообразия, рефугиев, образование и агрессивное распространение очагов чужеродных элементов биоты;

6) проведение необоснованных мелиоративных мероприятий (обводнение, лесонасаждения и др.);

7) активизация природных пожаров и связанные с ними риски возникновения кризисных экологических и техногенных ситуаций;

8) загрязнение природной среды (вода, воздух, почвы), формирование техногенных ареалов загрязнения, особенно при добыче нефти и газа;

9) эколого-гидрологические проблемы, связанные с ростом потребностей в воде, регулированием речного стока и климатическими изменениями;

10) образование невостребованного земельного фонда и захват земель недобросовестными землепользователями, ориентированными на получение экономической выгоды любой ценой.



Рис. 1. Основные агроэкологические проблемы степных регионов Европейской России и Урала

III. Обобщены и использованы возможности методов ландшафтной географии, основанных на материалах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ГИС-картографировании, 3D-моделировании и использования нейронных сетей для решения следующих задач:

а. *хронологический подход (ландшафтные границы):*

- конвергенция природных рубежей хозяйственных границ;

- использование ГИС для идентификации границ;
- экологически безопасная адаптация к ландшафтной структуре видов хозяйственных угодий и конкретных технологий (ландшафтное и отраслевое планирование);

в. *эмерджентный подход (природоохранный инвариант)*:

- замещение утраченных геосистем природоподобными;
- разработка структурных моделей ландшафта на основе определения параметров энтропийной сложности, разнообразия и неоднородности;
- компенсация утраченных функций степного ландшафта через сеть особо охраняемых ландшафтов;

с. *морфологический подход (устойчивость)*:

- множественность и нелинейность устойчивости ландшафтных геосистем;
- классификация состояний ландшафтов на основе технологий нейронных сетей и расчёта NDVI;
- определение возможных состояний ландшафта, расчёт допустимой антропогенной нагрузки и определение набора допустимых видов землепользования и разнообразия возможностей использования ландшафта.

д. *эргодический подход*:

- пространственно-временные функциональные группы и аналоги природных и антропогенных геосистем;
- ГИС – картографирование парадинамических структур;
- градиентное прогнозирование, определение трендов развития геосистем через анализ градиентных полей параметров;

е. *полимасштабность (фрактальность)*:

- полиструктурный анализ возможностей гармоничного сочетания природной и антропогенной составляющих геосистем;
- разработка фрактальных моделей управления межкомпонентными связями ландшафта;
- определение уровней управления ландшафтом и его ресурсами, тиражирование планировочных решений.

На протяжении многих десятилетий в природопользовании преобладали дивергентные подходы, основанные на узкоспециализированных методах оптимизации ландшафтов, путем воздействия на отдельные его компоненты с помощью ставших традиционными – тотальной распашки черноземов, примитивного облесения, обводнения, противозрозионного преобразования рельефа без учета межкомпонентных и парадинамических связей. Новый проект Института степи предполагает реализацию конвергентного подхода к оптимизации степного природопользования, предусматривающего не простое междисциплинарное взаимодействие, а решение проблем на основе степеведения как конвергентной области знания.

В настоящее время внимание научного сообщества сосредоточено на таких глобальных критических территориях биосферы Земли как Арктика, аридные зоны, леса; и такие глобальные проблемы как потепление климата, опустынивание, отрицательный баланс углерода, образующие своеобразные оси конвергенции, решение проблем которых требует объединения усилий и обмена достижениями комплекса фундаментальных и прикладных наук. На этом фоне степная зона по-прежнему остается уделом узкоспециальных прикладных наук, таких как агрономия, горные науки, сопряжённые с добычей углеводородов или твердых полезных ископаемых, и т.д.

IV. Проект впервые рассматривает степи России как критическую территорию биосферы, своеобразную ось конвергенции естественных и прикладных наук, с

помощью которых эта важнейшая земледельческая, и не только земледельческая полоса может стать одним из драйверов экономического развития России.



Рис. 2. Природоподобные технологии в растениеводстве

V. Разработаны трансцендентальные технологии оптимизации агроландшафтов степной зоны, направленные, с одной стороны, на развитие непрерывной сети территориальной охраны ландшафтов, сохранение эталонов ненарушенной природы в качестве ландшафтно-экологического резерва, геоэкологического противовеса и лабораторий природы; с другой стороны, на принципиальное повышение продуктивности растениеводства с сохранением почвенного плодородия, предусматривающие (рис. 2, 3):

- поддержание оптимального соотношения различных типов сельхозугодий и внедрение почвосстановительных севооборотов;
- внедрение агроландшафтного оборота земель, способствующего их самореабилитации и природным процессам восстановления плодородия;
- использование для земледелия только элитных почв, не нуждающихся в дополнительных мелиорациях, применение ресурсосберегающих приёмов обработки почвы, предотвращающих деградацию верхнего плодородного слоя и поддерживающих оптимальную структуру почвы;
- управление пастбищными экосистемами, освоение малопродуктивных и неиспользуемых земель в качестве пастбищ;
- построение лесомелиоративного каркаса на основе восстановления разнообразия естественной лесостепи с целью создания наиболее устойчивых, экологически функциональных и экономически наименее затратных лесных урочищ и кулисных севооборотов;

- оптимальное обводнение пастбищ, оборудование водоемов и стоянок скота за пределами гидрографической сети;
- противопожарное степеустройство на основе природного разнообразия экосистем с целью резкого сокращения степных пожаров;
- сидерацию паров;
- контурное земледелие;
- минимальную обработку почвы;
- внесение органических удобрений;
- аэробное компостирование растительных отходов и отходов животноводческих ферм с целью сохранения и поддержания природоподобия;
- сохранение почвенной влаги, в т.ч. мульчированием;
- интерактивное цифровое земледелие.



Рис. 3. Синтез продуктивных устойчивых агроландшафтов (технологическая платформа степного природопользования в XXI веке)

Внедрение природоподобных технологий степного природопользования (на данном этапе – аграрного землепользования) на фундаментальной научной основе будет способствовать принципиальному повышению общей культуры степного природопользования, в свою очередь способствующей интенсификации земледелия с выходом на биопотенциальную урожайность, принципиальному увеличению валовых сборов при целенаправленном сокращении посевных площадей в пользу решения самых критических экологических проблем степной зоны. Эти проблемы предполагается решать, реализуя конвергентный подход, приоритетом которого является сотворчество динамичной природы степей и «человека ответственного» в лице целого ряда областей знаний и практики.

А.А. Барях¹, В.П. Матвеев²

Первые итоги и перспективы развития Пермского Федерального исследовательского центра УрО РАН

Пермский Федеральный исследовательский центр УрО РАН был создан 11 мая 2017 года на базе Пермского научного центра УрО РАН. В его состав вошли четыре академических института (Институт механики сплошных сред УрО РАН, Институт технической химии УрО РАН, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Горный институт УрО РАН), два отдела (Отдел по исследованию политических институтов и процессов и Отдел истории, археологии и этнографии), лаборатория фотоники и Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (ПНИИСХ), ранее являвшийся подразделением Россельхозакадемии.

Наличие в одной организационной структуре различных научных направлений поставило в качестве первоочередной задачи стимулирование междисциплинарных исследований при сохранении в институтах уникальных компетенций по традиционным тематикам. Архиважным при организации Центра являлось также сохранение демократических традиций управления, общепризнанных научных школ и научной инфраструктуры. Принцип «Не навреди...» определял подходы к реструктуризации.

Сложной задачей оказалось формулировка общей направленности научной деятельности Центра. Очевидно, что она не должна быть бесконечно широкой, но при этом тематически охватывать исследования всех подразделений. В качестве такого направления была выбрана «Безопасность природных и техногенных систем».

Принятое направление исследований определило миссию ПФИЦ УрО РАН – получение новых фундаментальных знаний, направленных на решение проблем безопасности природных и техногенных объектов на основе интеграции физических, механических, химических, горных, биологических и социо-гуманитарных наук.

Программа научных исследований Центра включает следующие основные научные направления:

- 1) разработка современных методов исследования и моделей поведения сложных природных, техногенных и социальных систем;
- 2) создание органических и неорганических материалов с оптимальной структурой и свойствами, био- и агрохимических препаратов, фармакологических средств нового поколения;
- 3) разработка научно-методических основ интеллектуального мониторинга и управления технологическими, природными и социальными системами с учётом закономерностей их пространственно-временной трансформации и антропогенных воздействий.

Данные направления исследований позволяют реализовать интенсивное взаимопроникновение различных научных методов с целью получения значительного синергетического эффекта, выраженного в генерации новых знаний и технологий, а также достижении фундаментальных и прикладных результатов принципиально нового качества.

Приоритетом Центра являются комплексные исследования проблем безопасности, включающие в себя вопросы промышленной, экологической и продовольственной безопасности, разработку научной базы для моделирования эволюции сложных промышленных и природных систем, создание средств и систем мониторинга для

¹ Директор Пермского ФИЦ УрО РАН, член-корреспондент РАН

² Научный руководитель Пермского ФИЦ УрО РАН, академик РАН

прогнозирования и минимизации последствий техногенных аварий и природных катастроф.

Два года работы Центра дают возможность подвести первые итоги, оглянуться на сложности, с которыми пришлось столкнуться, «просчитать», что удалось реализовать, а что пришлось отложить на будущее.

В рамках организационных подходов к реструктуризации предполагалось обеспечить максимальную самостоятельность научной деятельности институтов при эффективной системе управления Центра в целом. Многие эти задачи решены. Институты получили статус филиалов, что позволяет им самостоятельно осуществлять инновационную деятельность. Каждый институт сохранил свой Ученый совет. В ПФИЦ УрО РАН создан Объединенный Ученый совет и Попечительский совет во главе с Губернатором Пермского края. Интегрированы в единые структуры: отделы охраны труда, закупок, аспирантура и др. Сохранена деятельность пяти Советов по защите докторских диссертаций. Вместе с тем, требует совершенствования работа финансово-экономической службы Центра, имеют место проблемы с аккредитацией аспирантуры и др.

За два года существования Центра увеличилась общая численность работающих, которая приближается к 900 человекам. Количество научных работников составляет более 400 человек. Из них 80 докторов наук, в т.ч. 5 членов РАН, и более 200 кандидатов наук. Создано семь новых лабораторий, с преимущественно молодежным составом научных сотрудников. В целом по Центру доля молодых исследователей составляет 47%.

Исследования центра регулярно получают поддержку российских научных фондов – РНФ и РФФИ. В 2018 году финансировалось 15 грантов РНФ и 83 гранта РФФИ на сумму более 150 млн. руб. Центр участвует в выполнении 3 Федеральных целевых программ (ФЦП). Восемь сотрудников являются получателями грантов Президента РФ. Исследования подразделений центра широко востребованы реальным сектором экономики. Среди потребителей научной продукции Центра государственные корпорации, крупные машиностроительные, химические, нефте- и горнодобывающие компании, инжиниринговые фирмы, предприятия Беларуси, Казахстана, Германии. Доля внебюджетного финансирования из всех источников в 2018 году достигла 70%.

Неплохо смотрятся и наукометрические показатели Центра. Годовое число публикаций в международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus) – более 300, что в расчете на одного научного работника составляет 0,8. В течение 2017-2018 годов сотрудниками центра защищено 12 кандидатских и 1 докторская диссертации.

Главной задачей научно-организационной деятельности Центра в период его становления являлось создание условий и стимулов в поддержке междисциплинарных исследований в рамках грантов РФФИ, РНФ, ФЦП и продвижения инновационных разработок. Для ее решения организованы и проведены следующие мероприятия:

- 1) Включение в план работы каждого заседания Объединенного ученого совета докладов 2-х научных лабораторий институтов;
- 2) Поддержка участия сотрудников институтов в подготовке заявок для участия в междисциплинарных конкурсах РФФИ и РНФ;
- 3) Проведение семинаров по обмену опытом в подготовке междисциплинарных проектов совместно с другими научными организациями (Томский НЦ СО РАН);
- 4) Формирование тематики региональных междисциплинарных конкурсов РФФИ;
- 5) Инициирование проведения ориентированных междисциплинарных конкурсов РФФИ;

6) Продвижение междисциплинарных инновационных разработок в рамках работы Ассоциации научных и наукоемких предприятий Пермского края.

Развитие междисциплинарных подходов позволило успешно реализовать в Центре ряд проектов. Приведем несколько примеров. Так, совместные исследования ИМСС УрО РАН (д.ф.-м.н. Любимова Т.П.) и ГИ УрО РАН (д.г.н. Лепихин А.П.) по проблеме техногенного загрязнения водных объектов (рис.1) получили свое тематическое продолжение в дополнительном госзадании Минобрнауки по программе «Оздоровление Волги».

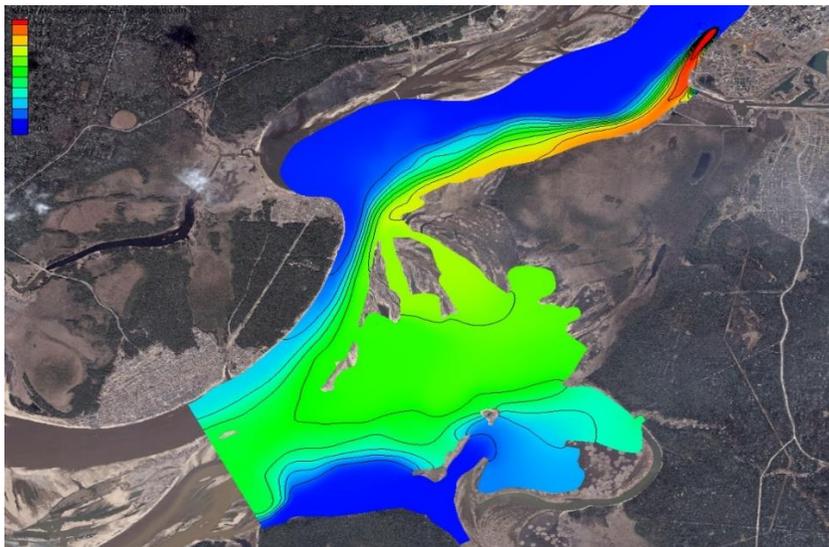


Рис.1. Моделирование загрязнения водного объекта промстоками

Междисциплинарные исследования механобиологии живых систем (рис. 2) в рамках проекта «Разработка программно-аппаратного комплекса для ранней диагностики в онкологии методами лазерной микроскопии и инфракрасной термографии», выполняемые тремя институтами Центра: ИМСС УрО РАН (д.ф.-м.н. Наймарк О.Б.), ИТХ УрО РАН (к.х.н. Гришко В.В.), ИЭиГМ УрО РАН (ак. РАН Ившина И.Б.), поддержаны Федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России». Примечательно, что этот проект является интеграционным и реализуется совместно с Томским НЦ СО РАН при участии индустриального партнера Уральского оптико-механического завода – Швабе.

Совместные исследования ГИ УрО РАН и ИМСС УрО РАН, связанные с различными аспектами мониторинга горнотехнических и инженерных объектов (рис. 3, 4), легли в основу гранта, полученного на проведение исследований научными лабораториями мирового уровня в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации Президентской программы исследовательских проектов Российского научного фонда.

Наиболее сложной оказалась проблема интеграции в Центр сельскохозяйственного сектора. Это было связано с рядом объективных причин: существенная разница в нормативной заработной плате в учреждениях Россельхозакадемии и РАН и, как следствие, низкий уровень бюджетного финансирования, значительная часть которого уходила на уплату налога на землю и имущество.

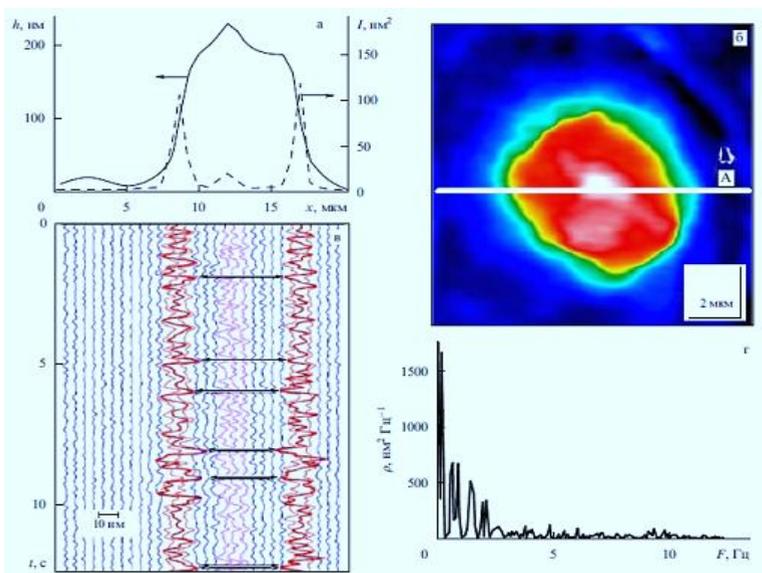


Рис.2. Динамика «фазовых толщин» в сечениях клетки

К сожалению, неудовлетворительным являлся и уровень административного управления учреждением. В общем ПНИИСХ «принес» в Центр долги по заработной плате и налогам, разобранную инфраструктуру (здания, требующие капитального ремонта, отсутствие современного лабораторного оборудования, нехватка сельскохозяйственной техники) и, самое основное, подавленное психологическое состояние сотрудников.

В этой связи были приняты, возможно, жесткие меры по уравниванию базовых зарплатных ставок ПНИИСХа с бюджетными выплатами по Центру в целом. Главной же задачей являлось увеличение финансирования сельскохозяйственного подразделения за счет привлечения средств с различных источников. В содружестве с Ги УрО РАН были получены два гранта РФФИ по междисциплинарной тематике, связанной с созданием технологий хранения картофеля в атмосфере калийных солей и разработкой способов переработки шламов в удобрения пролонгированного действия. Центру удалось включиться в число исполнителей программы «Развитие селекции и семеноводства картофеля», выполняемой в рамках госзадания Минобрнауки. В 2018 году на базе ПНИИСХа созданы две новые лаборатории, обеспеченные молодежными кадрами. Все эти мероприятия позволили увеличить бюджет подразделения в 4 раза. В 2017-2018 годах за счет программы развития ПФИЦ УрО РАН свыше 50 млн. руб. инвестировано в проведение ремонтных работ объектов ПНИИСХ и приобретение техники. Небольшая прибыль была получена и от производственной деятельности – продажа семян многолетних трав и зерновых культур.

Удачной оказалась идея организации на базе ПНИИСХ Агробиотехнопарка «Лобаново», поддержанная Администрацией Пермского края. В рамках его создания в 2018 году было принято решение о финансировании из регионального бюджета проектов ПФИЦ УрО РАН по картофелеводству, семеноводству и кормам в размере 55 млн. руб. На эти средства приобретено современное полевое и лабораторное оборудование. Площадка ПФИЦ УрО РАН выбрана для проведения ежегодной Межрегиональной сельскохозяйственной выставки «Агрофест» (рис. 5) – праздника всех аграриев Прикамья.



Рис. 3. Система оптоволоконного термометрического контроля состояния ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов



Рис. 4. On-line мониторинг осадков фундаментов зданий и пространственный прогноз деформаций земной поверхности

Предполагается, что реализация проекта Агробиотехнопарка ПФИЦ УрО РАН обеспечит трансформацию научных исследований в практическую плоскость, выступая инкубатором для образования, консалтинга, оказания услуг аграрным предприятиям, а также дальнейшего тиражирования полученных научных результатов совместно с индустриальными партнерами. Агробиотехнопарк ПФИЦ УрО РАН должен стать площадкой для продвижения технологий комплексного развития сельских территорий, машиностроения, прецизионных технологий, малых форм хозяйствования на селе. Надеемся, что Агробиотехнопарк ПФИЦ УрО РАН будет являться полигоном для разработки, апробации и продвижения технологий эффективного сельского хозяйства Нечерноземной зоны России.



Рис. 5. Выставка «Агрофест'18»

В 2019 году постановлением Правительства РФ принято решение об организации в Пермском крае, без проведения конкурсного отбора, научно-образовательного центра (НОЦ) мирового уровня. Пермский НОЦ формируется на основе взаимодействия Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермского национального исследовательского политехнического университета и Пермского государственного национального исследовательского университета в кооперации с предприятиями реального сектора экономики. Создание НОЦ – это новые возможности и новые задачи на будущее.

***И.Н. Болотов¹, Г.Н. Антоновская², Ю.В. Беспалая², К.Г. Боголицын²,
Л.К. Добродеева², В.В. Гинтов², Н.С. Горбова², О.Д. Кононов², А.И. Малов²,
А.П. Новоселов², Т.М. Романенко²***

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова – Форпост Уральского отделения РАН в Арктическом регионе Российской Федерации

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук создан на базе Архангельского научного центра Уральского отделения РАН путем присоединения к нему Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, Института физиологии природных адаптаций Уральского отделения РАН, Архангельского научно-

¹ Директор ФИЦ комплексного изучения Арктики им. ак. Н.П. Лаверова РАН, доктор биологических наук

² ФИЦ комплексного изучения Арктики им. ак. Н.П. Лаверова РАН

исследовательского института сельского хозяйства и Нарьян-Марской сельскохозяйственной опытной станции в соответствии с приказом ФАНО России № 494 от 30 сентября 2015 года. С инициативой о создании Центра выступили вице-президент РАН академик Н.П. Лаверов, вице-президент РАН председатель Уральского отделения РАН, академик В.Н. Чарушин, руководитель Уральского территориального управления Министерства науки и высшего образования России И.Л. Манжуров, Губернатор Архангельской области И.А. Орлов, а также коллективы научных организаций Архангельска, вошедшие в состав ФИЦКИА.

В настоящее время в состав Центра входят 6 академических институтов, 28 научных лабораторий, две уникальные научные установки (Российский музей центров биологического разнообразия и Архангельская сейсмическая сеть), геобиосферный стационар «Ротковец» (на юге Архангельской области) и Нарьян-Марская сельскохозяйственная опытная станция (г. Нарьян-Мар). В Центре работают 325 человек, из них 232 научных сотрудника, в том числе 25 докторов наук и 108 кандидатов наук. Центр представляет собой наиболее северную научную организацию, находящуюся под научно-методическим руководством Уральского отделения РАН, научный форпост Уральского отделения в Арктике. Куратором научно-организационной деятельности ФИЦКИА является вице-президент РАН, председатель Уральского отделения РАН академик В.Н. Чарушин, а научно-организационную деятельность каждого из Институтов Центра курирует соответствующий Объединенный ученый совет Уральского отделения РАН (согласно направлениям научных исследований Институтов). Административную, финансовую и хозяйственную деятельность Центра курирует руководитель Уральского территориального управления Министерства науки и высшего образования России И.Л. Манжуров.

Основной целью деятельности Центра является проведение комплексных фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, направленных на создание конкурентоспособных научно-технологических основ обеспечения государственных интересов, сбалансированного социально-экономического развития и повышения качества жизни населения, сохранения окружающей природной среды, биологического и генетического разнообразия в Арктической зоне Российской Федерации.

Основные научные направления исследований:

- эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития;
- территориальная организация хозяйства и общества;
- изучение роли в гомеостазе у человека и животных интеграции механизмов деятельности систем пищеварения, дыхания, кровообращения и выделения, участие в регуляции функций этих систем;
- исследование динамики соотношения глобального и национального в социально-экономическом развитии и оптимизация участия России в процессах региональной и глобальной интеграции;
- фундаментальные основы создания систем земледелия и агротехнологий нового поколения, с целью сохранения воспроизводства почвенного плодородия, эффективного использования природно-ресурсного потенциала агроландшафтов и производства заданного количества и качества сельскохозяйственной продукции;
- фундаментальные основы управления селекционным процессом создания новых генотипов растений с высокими хозяйственно ценными признаками продуктивности, устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам.

Важнейшие результаты фундаментальных исследований Институтов ФИЦКИА

Исследования Института геодинамики и геологии имени члена-корреспондента Ф.Н. Юдахина (директор – лауреат Государственной премии СССР, д.г.-м.н. А.И. Малов) направлены на получение новых знаний в области геофизики и геоэкологии и смежных дисциплин для территории севера Русской плиты и Арктической зоны РФ.

Разработана методика выделения погребенного карста на лесопокрытых равнинных территориях с применением метода обнаружения бессточных впадин, используемого при гидрологической коррекции цифровой модели рельефа. Максимальная плотность бессточных впадин соответствует территориям с развитием карбонатного погребенного карста и может быть использована для выявления начального этапа развития данного процесса, что крайне важно при оценке геоэкологической опасности территорий с возрастающей антропогенной нагрузкой (рис. 1А).

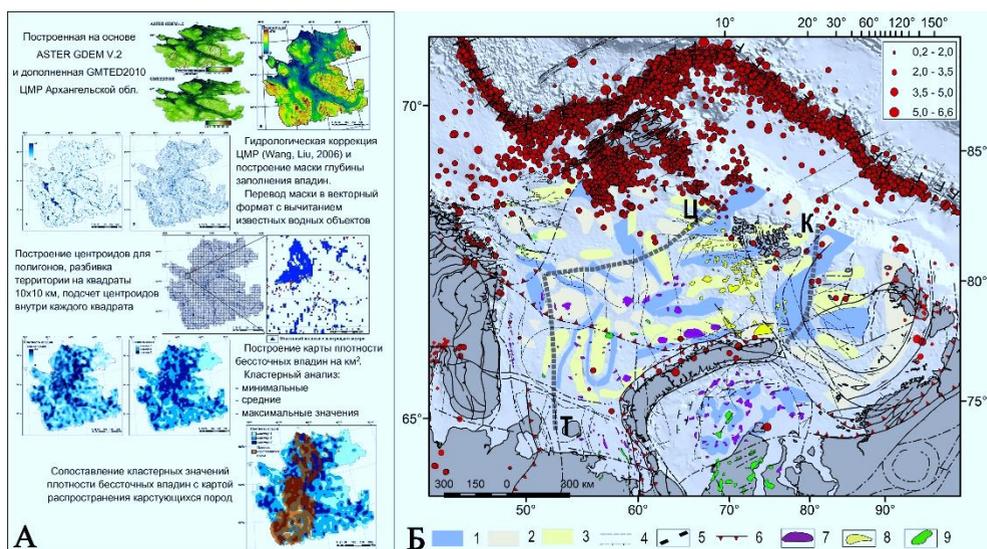


Рис. 1. Методика выделения погребенного карста на лесопокрытых равнинных территориях

С целью разработки мер обеспечения сейсмобезопасности при освоении арктического шельфа составлен сводный уточненный каталог землетрясений за 1900-2018 гг. с учетом данных, полученных Архангельской сейсмической сетью. Выявленная сейсмичность в зонах развития глубинных надвигов Баренцево-Карского региона является дополнительным фактором локализации биогенного и газогидратного УВ. Сейсмическая пассивность в зонах рифтовых областей этого региона, является фактором отсутствия полей напряжений, что способствует сохранению и накоплению мигрированных УВ в основных потенциально нефтематеринских толщах (рис. 1Б).

Разработан и внедрен комплекс мульти-изотопных и геохимических методов для выявления диагностических признаков кимберлитовых образований на закрытых территориях платформ, формирования защищенных от природного и техногенного загрязнения запасов качественных пресных питьевых и минеральных вод на приарктических территориях и оценки радиоэкологического и геохимического

состояния компонентов природной среды на территориях разработки полезных ископаемых (рис. 2).

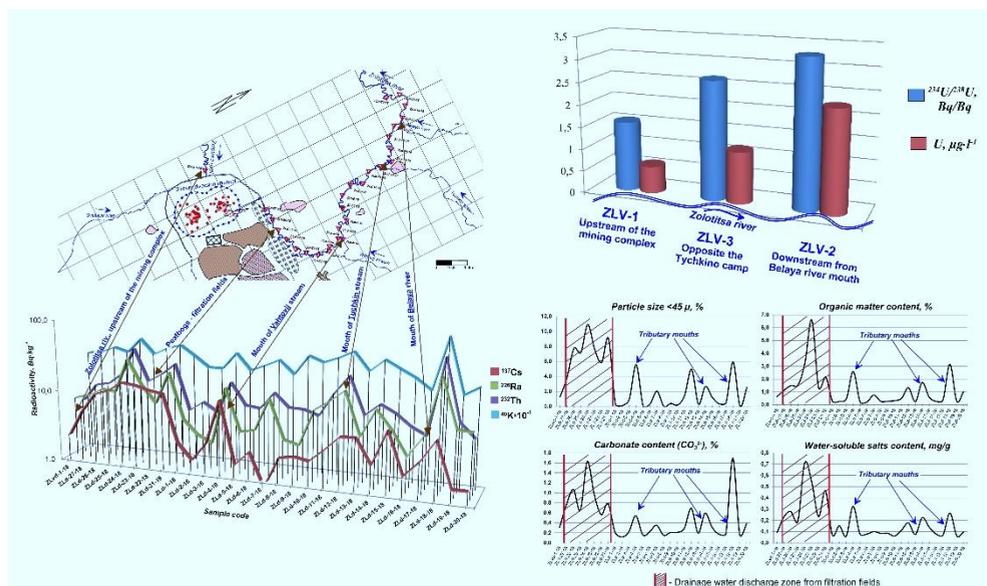


Рис. 2. Комплекс методов для выявления диагностических признаков формирования защищенных от природного и техногенного загрязнения запасов качественных пресных питьевых и минеральных вод

Результат может быть использован при геологоразведочных работах на закрытых территориях платформ, использовании ресурсов подземных вод для питьевых и бальнеологических целей, составлении прогноза изменений состояния окружающей среды.

Исследования **Института биогеографии и генетических ресурсов** (директор – к.б.н. Ю.В. Беспалая) направлены в первую очередь на проведение фундаментальных и прикладных работ в области изучения эволюции, биологического и генетического разнообразия, функционирования и сохранения наземных и пресноводных экосистем и культурного наследия Арктики.

Изучены пути формирования фауны и флоры высокоарктических островов (о. Вайгач, Новая Земля, о. Колгуев, п-ов Канин, Исландия). Выявлен эндемичный вид насекомых на Новой Земле, что может свидетельствовать об отсутствии покровного оледенения на Южном острове этого арктического архипелага. Установлено, что в неблагоприятных условиях окружающей среды Арктики пресноводные и наземные живые организмы способны к выработке репродуктивных стратегий, направленных на повышение успеха размножения популяции. В бассейне р. Северная Двина впервые изучены видовое и генетическое разнообразие, особенности распространения и паразитофауна опасных чужеродных видов моллюсков. Проведена инвентаризация фауны беспозвоночных животных (чешуекрылых, шмелей, жуков-жужелиц, пчел и пресноводных моллюсков) и флоры (мхи, сосудистые растения и грибы) арктических и приарктических территорий Европейской части и отдельных районов Дальнего Востока РФ.

Исследована структура и динамика компонентов лесных сообществ Европейского Севера России. Выявлены морфоструктурные особенности и изучена изменчивость

биохимических признаков форм сосны (*Pinus sylvestris*) в условиях избыточного увлажнения почв в северной тайге Арктической зоны. Разработаны методы экспресс-оценки доброкачественности и фертильности пыльцы можжевельника (*Juniperus communis*). Проведён анализ современного состояния и хозяйственного использования фоновых видов охотничьих животных в Ненецком автономном округе и Архангельской области.

Завершен 15-летний проект по оценке роли изменений климата в масштабном сокращении численности европейской жемчужницы (*Margaritifera margaritifera*), в котором участвовали 20 ученых из 6 стран. Разработан новый подход к оценке влияния климатических изменений на состояние популяций моллюсков, базирующийся на системе уравнений, интегрированных в геоинформационную систему, сопряженную с глобальными моделями климата. На основе применения этого метода разработана серия вероятностных моделей (рис. 3), которые показывают, что потепление климата во второй половине XX – начале XXI веков могло оказать негативное влияние на популяции жемчужниц в континентальном масштабе. Более того, прогноз на 2060-2080 годы с учетом имеющихся климатических сценариев предполагает почти полное исчезновение жемчужницы в странах Южной и Центральной Европы.

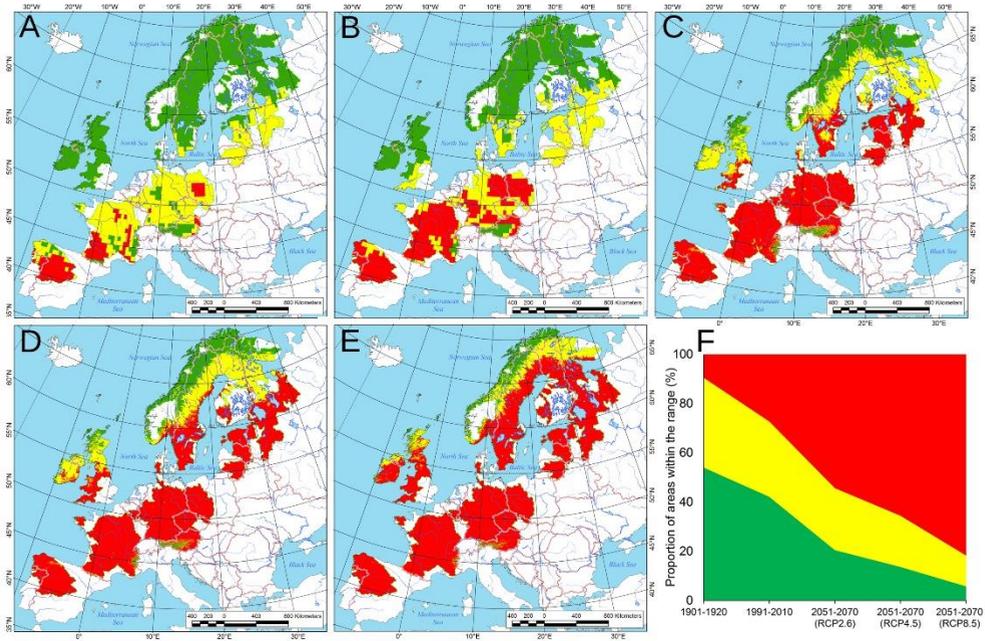


Рис. 3. Негативное влияние потепления климата во второй половине XX – начале XXI веков на популяции жемчужниц в континентальном масштабе

В пресных водах впервые обнаружены живые организмы (моллюски-камнеточцы), которые проделывают глубокие ходы в твердых горных породах и живут внутри них. Установлено, что процесс макробиоэрозии, ранее описанный на примере разрушения пород морскими животными, протекает и пресных водах. При этом пресноводные камнеточцы протачивают ходы в твердых силикатных породах, что не характерно для их морских родственников, разрушающих преимущественно карбонаты. Таким образом, наличие ходов ископаемых моллюсков-камнеточцев в горных породах не является однозначным индикатором морских условий осадконакопления, но может

указывать и на формирование фаций в условиях пресного водоема. Результат опубликован в журнале *Nature Communications* (Bolotov et al., 2018) и имеет большое значение для биогеографии, палеонтологии, ихнологии и региональной геологии.

Трансформация природной среды и изменения климата имеют последствия как для занятий традиционным природопользованием, для жизнедеятельности населения арктических территорий, изменяются сроки и продолжительность отдельных видов традиционной хозяйственной деятельности, повышают изолированность поселений, степень дискомфорта и экстремальность жизни на удаленных северных территориях. Разработана и внедрена серия авторских методик по архитектурно-этнографическому обследованию памятников деревянного зодчества и историческим поселениям.

Сотрудниками **Института экологических проблем Севера** (директор – д.х.н., профессор К.Г. Боголицын) проводится широкий спектр исследований в области эволюция окружающей среды и климата Арктики под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития.

Определена годовая эмиссия углекислого газа из 58 рек, расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты в Западной Сибири. Эмиссия достигает пиковых значений на границе зоны многолетнемерзлых пород. При этом вынос углерода путем эмиссии углекислого газа из рек в среднем в два раза выше, чем транспорт углерода речным стоком. Показано, что реки Западной Сибири играют важную роль в цикле углерода путем дегазации наземного углерода перед его переносом в Северный Ледовитый океан. Изменения температуры и количества осадков важны для разработки прогнозных моделей эмиссии углекислого газа из высокоширотных рек в условиях меняющегося климата. Результат является принципиально новым и опубликован в журнале *Nature Geoscience* (Serikova et al. 2019).

В ходе систематического изучения сопряженных с глобальным циклом углерода биогеохимических процессов серного и хлорного циклов получены новые данные, используемые для оценки экологической обстановки водных экосистем. Установлена значимость процесса сульфатредукции для пресных маломинерализованных водоемов, соотношение параметров которого отражает комплекс протекающих редокс-процессов и может служить маркером антропогенного воздействия на водоем. Выявлено присутствие устойчивых потенциально опасных для окружающей среды хлорорганических соединений в донных осадках арктических озер, поступающих в результате естественных биохимических процессов. Разработаны и аттестованы методики для систем контроля технологий снижения сброса токсичных хлорорганических соединений на крупных предприятиях Северо-Запада РФ, выпускающих беленую целлюлозу.

Предложены методологические подходы исследования закономерностей цикла «структура – функциональная природа – свойство», включающие фракционирование капиллярно – пористых природных матриц растительного происхождения, основанное на комбинировании стадий термохимической, механической и механохимической активаций нанобиокомпозита и селективного извлечения соединений различной химической природы на основе принципа химического сродства, в том числе, с суб- и сверхкритическими растворителями. Получены новые данные о компонентном составе природных матриц различного иерархического уровня и его изменении под воздействием абиотических и техногенных факторов.

Установлено, что следствием природно-климатического или техногенного воздействия на биообъект является активизация окислительного стресса, проявляющегося в трансформации компонентного химического состава,

функционализации отдельных высокоактивных соединений, нарушении жизненного биоцикла. Показано, что высоко прогностическими параметрами состояния природных арктических экосистем являются дескрипторы первого рода и второго рода, имеющие быстрый и накопительный (кумулятивный) отклик, соответственно.

Получены аэрогели на основе ИПЭК АЛNa-ХТ с развитой мезопористой структурой: площадью удельной поверхности до 3400 м²/г и средним размером пор около 4 нм. Показана возможность использования аэрогелей для получения раневых повязок с включением синтетического лекарственного вещества (антибиотик левомецетин). Установлено, что матрица аэрогеля обеспечивает пролонгированное и безопасное поступление лекарства (90 % в течение 8 ч) к раневой поверхности (рис. 4).

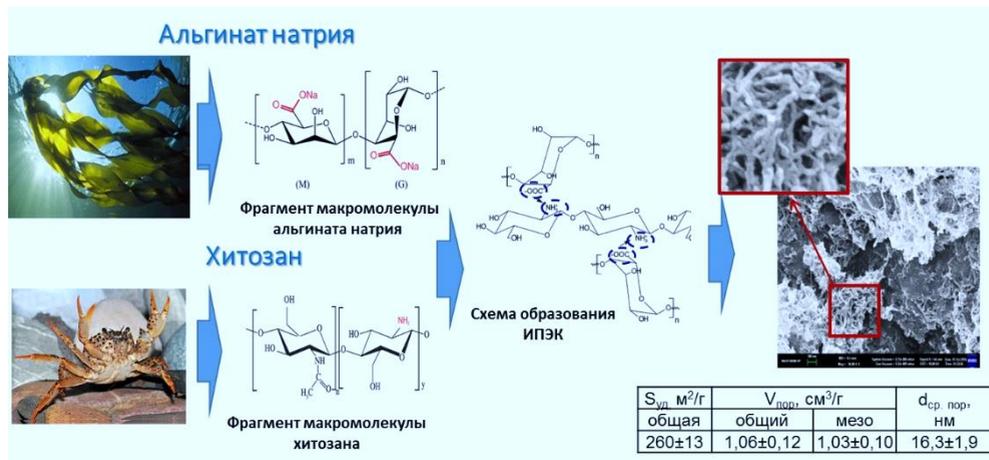


Рис. 4. Обеспечение матрицей аэрогеля пролонгированного и безопасного поступления лекарства

Установлено, что торф регионов субарктической климатической зоны отличается низким содержанием экстрактивных веществ с меньшим разнообразием в них низкомолекулярных соединений. Битумы торфа оказывают экранирующее действие и препятствуют биодеградации высокомолекулярных компонентов растительных тканей. Разработана методика определения химического состава торфа (ФР.1.31.2018.29621), позволяющая с высокой степенью достоверности выполнить сравнительный анализ органического вещества торфа, органометных почв, растительности и оценить ресурсный потенциал и пригодность торфяного месторождения к виду использования.

Проведена оценка круговорота вещества в термокарстовых озерах, газообмена между водной поверхностью и атмосферой. Оценен потенциал выноса микронутриентов и тяжелых металлов из торфа и мха в начальных стадиях таяния вечной мерзлоты. Резкое таяние в прерывистой зоне вечной мерзлоты изменяет химический состав коллоидов и увеличивает поток органического углерода, парниковых газов и высвобождение биогенных веществ из органических и минеральных почвенных горизонтов в поверхностные воды, что может вызвать дополнительный вынос в воды Арктического бассейна (рис. 5).

Выявлены ранее неизвестные черты внутривидовой структуры беломорской популяции гренландского тюленя (*Pagophilus groenlandicus*): существование больших и малых стад с различающейся экологией, имеющие свои районы нагула и позволяющие в условиях дефицита льда избегать какой-либо

конкуренции за ледовые массивы, что способствует выживанию популяции в условиях изменяющегося климата.

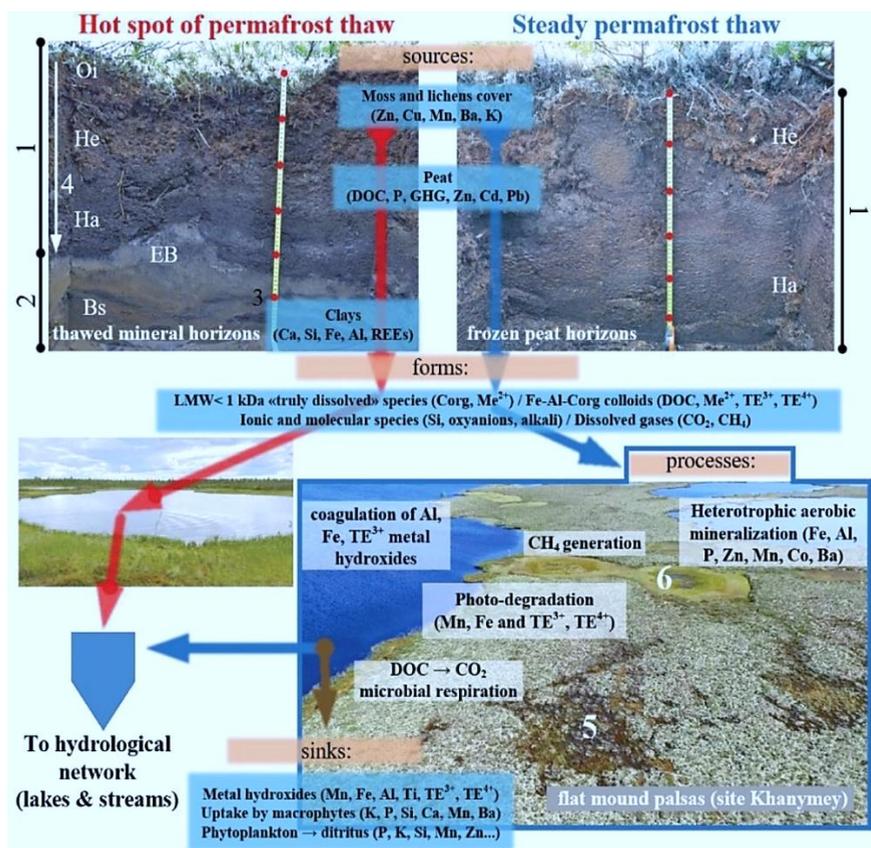


Рис. 5. Дополнительный вынос биогенных веществ в воды Арктического бассейна

В Институте физиологии природных адаптаций (директор – д.м.н., профессор Л.К. Добродеева) изучение механизмов нейро-иммуно-эндокринной регуляции процессов адаптации человека на Севере ведётся в двух важнейших направлениях.

Первое направление включает исследования функционального состояния клетки (иммунокомпетентные, эндокринные клетки, эпителий слизистых, эритроциты, тромбоциты) у лиц, проживающих в экстремальных климатических условиях, а также экспериментально *in vitro* в условиях дефицита тепла, освещенности и воздействия электромагнитных колебаний. Установлено, что адаптация клеток крови человека к неблагоприятным условиям может начинаться либо с активации митоген-зависимой протеинкиназы, синтеза первичных и вторичных медиаторов реакции превентивного воспаления и цитокинов, либо с торможения энергозатратных процессов путем активации первичного сенсора клеточной энергообеспеченности АМФ-зависимой протеинкиназы. В том и другом варианте происходит изменение липидной структуры клеточной мембраны, сбрасывание мембранных рецепторов, изменение уровня свойственного клетке функциональной, пролиферативной способности и повышение активности программируемой гибели клетки (апоптоза). На системном уровне происходит сокращение резервных возможностей регуляции гомеостаза человека с

риском формирования эндокринных нарушений, экологически зависимых иммунодефицитов, торможения возрастного развития и преждевременного биологического старения.

Второе направление – изучение роли внеклеточного пула биологически активных субстанций, рецепторов, лигандов и транспортных структур у жителей Арктики. У жителей Арктики выше содержание в крови внеклеточных рецепторов и лигандов, шире пределы содержания гормонов, вазомоторных аминов, нейропептидов и цитокинов. Такое напряжение механизмов нейро-иммуно-эндокринной регуляции обуславливает формирование синдрома недостаточности утилизации и выведения продуктов обмена веществ с накоплением различных ингибиторов метаболизма, в том числе метаболизма гормонов и цитокинов. Повышенные концентрации внеклеточного пула структур (сигнальных молекул, лигандов, рецепторов, антител) усугубляют возникающие проблемы недостаточности транспортных систем, обуславливают довольно высокий риск срыва адаптационных реакций. По итогам исследований сотрудниками Института получено 23 патента РФ.

Исследования **Института комплексных исследований Арктики** (директор – д.б.н. А.П. Новоселов) направлены на комплексное изучение особенностей и закономерностей развития экономических, социальных и экологических систем Арктической зоны Российской Федерации. В ходе исследований ведется изучение особенностей социально-экономического развития, исследование демографического, трудового, инновационного и туристического потенциалов северных и арктических регионов России. Предполагается получение целостного представления о социокультурных аспектах междисциплинарных проблем развития территорий и обществ в Арктике, разработка и обоснование экономико-математических моделей и процедур их реализации для объектов инфраструктуры и хозяйствующих субъектов АЗРФ. Разрабатываются рекомендации по совершенствованию механизмов государственного управления социально-экономическими процессами и предпринимательской средой северных и арктических регионов России. Проводится изучение социокультурной составляющей межгосударственных, международных и межрегиональных отношений и сотрудничества в Арктике, моделирование сбалансированного социально-экономического развития арктических территорий, осуществляется научно-методическое, научно-прикладное и экспертно-аналитическое содействие деятельности субъектов арктической политики РФ и заинтересованных сторон в регионах АЗРФ.

Проводятся исследования в области экологических проблем освоения минерально-сырьевых ресурсов Европейского Севера России, ведется разработка рекомендаций по совершенствованию методов государственного регулирования сохранения и использования биологических ресурсов АЗРФ. Осуществляется оценка влияния освоения природных ресурсов на развитие северных региональных социально-экономических систем, а также воздействия хозяйственной деятельности на водные биологические ресурсы и среду их обитания (ОВОС). На базе Института создана новая лаборатория эволюционной экологии и геномики гидробионтов в составе 10 человек, из которых 7 – молодые ученые в возрасте до 39 лет. Исследования лаборатории направлены на выявление эволюционных и зоогеографических аспектов формирования пресноводной ихтиофауны водоёмов Арктики и Субарктики, а также на разработку принципов развития аквакультуры на Севере.

Сотрудниками **Приморского филиала – Архангельского научно-исследовательского института сельского хозяйства** (научный руководитель – член-корреспондент РАН О.Д. Кононов, руководитель филиала – к.э.н. В.В. Гинтов) разработан улучшенный метод оценки племенной ценности быков-производителей

холмогорской породы крупного рогатого скота по белковомолочности их дочерей. Метод включает следующие блоки: формирование базы данных и подбор сверстниц к дочерям оцениваемых быков на подконтрольном массиве первотёлок; определение селекционно-генетических параметров популяции по селекционируемым признакам; определение племенной ценности быков по белковомолочности их дочерей с учётом коэффициента регрессии; определение стандартного отклонения племенной ценности быков-производителей; установление категорий быков по белковомолочности с учётом стандартного отклонения: 1) улучшатели; 2) нейтральные; 3) ухудшатели. Этот обновленный, более эффективный метод позволит повысить степень интенсивности отбора животных с наиболее ценным генотипом в системе воспроизводства породы и популяции. Полученный результат используется региональным информационно-селекционным центром при организации селекционно-племенной работы с холмогорской породой (рис. 6А). Возможной сферой применения является оценка и отбор лучших генотипов производящего состава на породном уровне в 11 субъектах Российской Федерации.

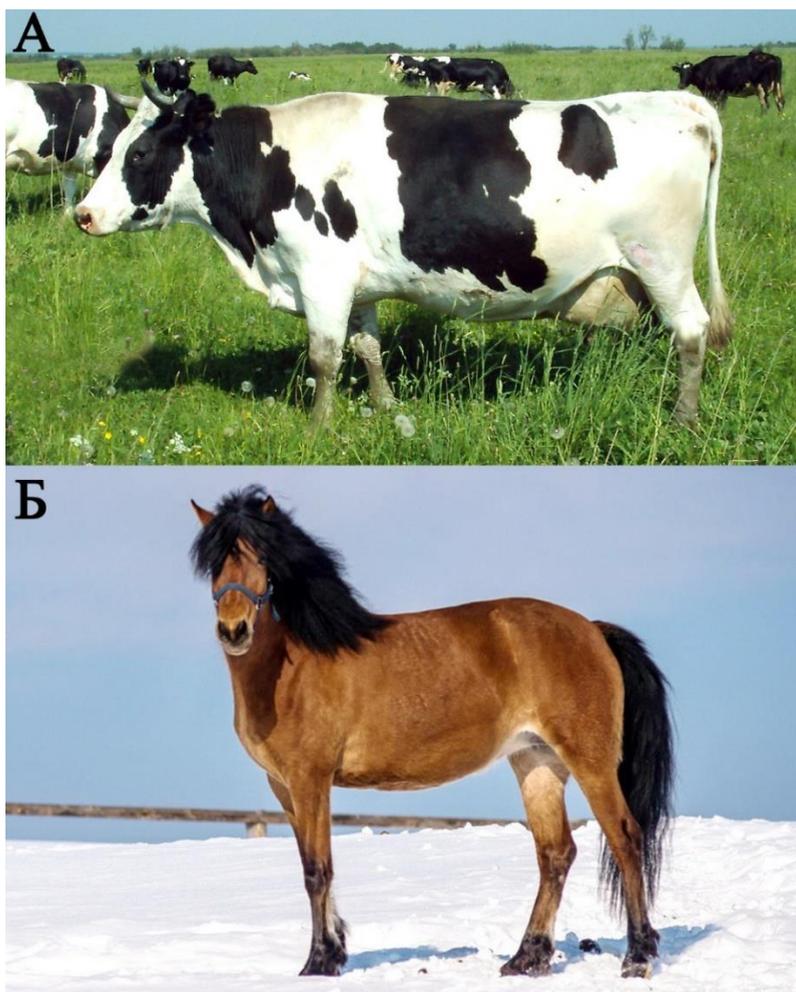


Рис. 6. Использование результатов Архангельского НИИ сельского хозяйства при организации селекционно-племенной работы

На основе комплексного анализа селекционно-генетических параметров мезенской породы лошадей разработана система совершенствования её генофонда. Система включает новые методические подходы селекционной работы. Эти подходы позволяют совершенствовать племенные и продуктивные качества малочисленной породы с одновременным поддержанием в ней широкого генетического разнообразия. Система способствует проведению оперативного мониторинга состояния и направленности селекционных процессов в породе и своевременному принятию мер по устранению в популяции различных негативных тенденций. Не менее значимыми результатами внедрения системы являются расширение ареала и увеличения численности мезенских лошадей, а также сохранение и поддержание в породе достаточного внутривидового генетического и генеалогического разнообразия. В целом, система обеспечивает повышение эффективности селекционного процесса в породе на 0.5-1.0 %. Полученный научный результат используется селекционным центром по мезенской породе при организации селекционно-племенной работы с породой (рис. 6Б). Данный результат может быть использован как модельная система при разработке перспективных программ совершенствования аборигенных пород лошадей России, в том числе якутской породы.

Сотрудниками **Нарьян-Марского филиала – Нарьян-Марской сельскохозяйственной опытной станции** (руководитель филиала – к.б.н. Т.М. Романенко) впервые после 1940 года выполнено дробное геоботаническое районирование Малоземельской тундры. Выделено 27 геоботанических районов, охарактеризован их почвенно-растительный покров, приведена характеристика техногенной нарушенности. Наибольшая техногенная нагрузка в регионе приходится на районы Русский Заворот и Коровинский. В целом доля нарушенных земель составляет менее 0.1%. Районы существенно различаются по распределению основных категорий оленьих пастбищ. На приморских пастбищах преобладают лишайниковые корма, на материковых пастбищах – зеленые. Для шести геоботанических районов подготовлены проекты крупномасштабных карт растительности, отражающие распределение различных категорий оленьих пастбищ по территории районов. Геоботаническое районирование и картографирование территории Малоземельской тундры является основой для выработки дифференцированного подхода к изучению биологического разнообразия и оптимизации природопользования с учетом ландшафтных особенностей территории.

Установлена эффективность защитного действия нового препарата на основе пиретроида дельтаметрина с улучшенными экологическими свойствами за счет использования вспомогательного компонента биоприлипателя «Липосам» в качестве пролонгирования его инсектицидного действия для профилактических обработок оленей против гнуса, слепней и оводов. Эффективность повышается за счет длительности действия препарата до 6 часов в сухую погоду и быстрой гибели слепней при контакте с обработанными животными (среднее значение = 6.8 минут). В результате проверки нового противопаразитарного препарата «Монизен-Форте» российского производства на северных оленях установлена лечебная эффективность при стронгилятозах 40%, при элафостронгилёзе, скрябинемозе, парабронематозе и мониезиозе 100%. Не проявляет лечебного эффекта при нематодирозах.

Проблемы и перспективы развития ФИЦКИА

Ключевой проблемой ФИЦКИА является недостаточная штатная численность научных сотрудников, в то время как в регионе имеется значительный потенциал в части кадров высшей квалификации, молодых ученых и аспирантов, позволяющий обеспечить развитие научных направлений Центра. Наиболее насущной задачей, на

наш взгляд, следует считать организацию в составе Центра нового Института истории, археологии и этнографии (3 лаборатории, 30 штатных единиц). Дело в том, что в ФИЦКИА исторически сформировались сильные научные школы по естественным наукам, медицине и сельскому хозяйству, в то время как гуманитарная составляющая не получила существенного развития. Вопрос о создании трех новых гуманитарных лабораторий (лаборатория новой и новейшей истории Русского Севера и Арктики, лаборатория арктической археологии и лаборатория этнологии и исторической антропологии), которые будут объединены в Института истории, археологии и этнографии, поддержан Ученым советам ФИЦКИА. Создание нового Института позволит увеличить количество молодых исследователей в Центре, а также приведет к наращиванию публикационной активности ученых в Арктическом регионе России. Помимо этого, необходимо создание дополнительных лабораторий по естественнонаучной тематике в существующих Институтах ФИЦКИА (6 лабораторий, 60 штатных единиц). Строительство нового здания Центра в Архангельске (пр. Никольский, 20, микрорайон Соломбала) и существующие на данный момент здания позволяют обеспечить развертывание новых подразделений ФИЦКИА в количестве 90-100 научных сотрудников.

Значимой проблемой для Центра служит необходимость обновления приборной базы, в том числе закупки современного научного оборудования для проведения комплексных исследований, такого как генетические анализаторы (секвенаторы), установки для определения стабильных изотопов, анализаторы клеточного метаболизма и другие. Большое значение имеет проблема отсутствия у Центра целевого финансирования полевых экспедиционных работ в Арктической зоне. Имеющие средства по госзаданию позволяют проводить только ограниченный объем работ, в то время как для исследований удаленных районов Арктики нужно применение вертолетного транспорта. Считаем, что основой эффективной деятельности ФИЦКИА должна служить отдельная Программа Арктических экспедиций с целевым бюджетным финансированием, которая должна включать как собственно оплату полевых работ (в том числе аренду вертолетов), так и обновление парка экспедиционного автотранспорта, который сейчас в значительной мере устарел. Указанные проблемы остро стоят и перед другими центрами и институтами Уральского отделения РАН, которые проводят полевые экспедиции в высоких широтах, например, Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН и институты ФИЦ Коми научного центра УрО РАН. Необходимо системное решение данного вопроса на федеральном уровне.

Важной проблемой является необходимость капитального и текущего ремонтов Нарьян-Марского филиала, который располагается в двух зданиях. Одно из этих зданий требует срочных мер по капитальному ремонту. Предполагается его преобразование в специальный стационар для ученых ФИЦКИА, которые будут размещаться здесь для проведения полустационарных исследований состояния и динамики арктических экосистем, здоровья человека в Арктике и других важнейших вопросов.

Приоритетным вопросом для Центра является увековечение памяти выдающихся академических ученых Архангельской области. В настоящее время ведутся подготовительные работы по установке памятника знаменитому ученому-геологу, академику Н.П. Лаврову в сквере у здания «АГД Даймондс» в Архангельске. В свою очередь, около нового здания ФИЦКИА в Соломбале планируется установка памятника выдающемуся ученому-геофизику, организатору Архангельского научного центра УрО РАН, члену-корреспонденту Ф.Н. Юдахину. Вопрос о создании памятника одобрен Правительством Архангельской области, Межрегиональным Ломоносовским

фондом и Ученым советом ФИЦКИА. Также планируется развитие Мемориального кабинета-музея члена-корреспондента Ф.Н. Юдахина при Институте геодинамики и геологии, который носит имя этого ученого, много сделавшего для развития академической науки в Архангельске. Важными задачами будущего должны стать создание Музея научного наследия академика Н.П. Лаверова и Музея археологии, этнографии и истории освоения Арктики (планируются к созданию в рамках будущего Института истории, археологии и этнографии).

ФИЦКИА активно взаимодействует с арктическими научными и природоохранными организациями, в том числе с Национальным парком «Русская Арктика», Росгидрометом, Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом, Северным (Арктическим) федеральным университетом, Северо-Восточным федеральным университетом, Якутским научным центром Сибирского отделения РАН и другими. Такое взаимодействие позволяет выполнять широкий спектр совместных научных проектов по проблемам Арктической зоны Российской Федерации. Однако, только создание надежных экосистемных, филогенетических и биогеографических моделей на национальных данных, без привлечения материалов из других стран, в большинстве случаев невозможно. Поэтому Центр сотрудничает с научными организациями, проводящими комплексные исследования на территории Зарубежной Арктики, в том числе в США, Канаде, Исландии, Гренландии, Норвегии и Финляндии. Вместе с тем, значительное внимание уделяется и сотрудничеству с научными организациями стран – стратегических партнеров России в рамках Евразийского экономического союза (Белоруссия, Армения, Киргизия) и Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (Китай, Мьянма, Таиланд, Вьетнам) по совместным грантам, хозяйственным договорам и иным проектам.

Д.В. Веселкин¹

Центр по изучению и управлению биоразнообразием, биоресурсами и экосистемными услугами Уральского региона

Создание Центра по изучению и управлению биоразнообразием, биоресурсами и экосистемными услугами Уральского региона предполагается для консолидации усилий нескольких организаций УрО РАН: Институт экологии растений и животных УрО РАН; Институт биологии Коми НЦ УрО РАН (Федеральный исследовательский центр Коми НЦ УрО РАН); Ботанический сад УрО РАН; Институт степи УрО РАН (Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН); Ильменский государственный заповедник УрО РАН (Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН); Институт промышленной экологии УрО РАН; Тобольская комплексная научная станция УрО РАН; Институт экологии и генетики микроорганизмов РАН (Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН). Еще один участник – Уральский федеральный университет. Проект может

¹ Заместитель директора по научной работе Института экологии растений и животных УрО РАН, доктор биологических наук

консолидировать усилия до 70 докторов и 250 кандидатов наук региона, работающих в областях изучения биоразнообразия, биоресурсов и экосистемных услуг.

Из приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации проект соответствует двум:

направление «ж) возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук»;

направление «з) исследования в области понимания процессов, происходящих в обществе и природе, развития природоподобных технологий, человеко-машинных систем, управления климатом и экосистемами, а также исследования, связанные с этическими аспектами технологического развития, изменениями социальных, политических и экономических отношений».

В ходе создания центра ключевых технологий изучения живой природы и экосистем для развития новых направлений и технологий экологических исследований будут решаться две основные задачи.

1. Создание новых научно-исследовательских подразделений:

1.1) центр коллективного пользования: геномных и изотопных методов;

1.2) центр инвентаризации, хранения и анализа данных о биоразнообразии и ресурсах;

1.3) лаборатория мониторинга «быстрых» изменений (климатических, геофизических, экосистемных);

1.4) центр оценки состояния природных объектов и технологий их охраны и восстановления;

2. Объединение и обобщенный анализ массивов данных о биоразнообразии, биоресурсах и экосистемных функциях региона, накопленных в организациях-участниках.

Организация Центра предполагается для создания условий для первоочередного развития направлений, которые, с одной стороны, в какой-то степени, уже реализуются в организациях-участниках, а, с другой, – способны обеспечить качественное изменение приоритетов, способствовать появлению в Уральском регионе новых точек роста экологических исследований (табл. 1).

Таблица 1

Предполагаемые направления роста экологических исследований

Вопросы	Дисциплины
Какие факторы определяют разнообразие организмов и параметры экосистем?	Макроэкология (macroecology); функциональная экология (functional ecology).
Как обеспечить неистощительную эксплуатацию природных ресурсов?	Ресурсная экология (resource ecology).
Как измерить экосистемные функции и услуги?	Функциональная экология (functional ecology).
Как охранять природу для максимизации экосистемных услуг?	Теория охраны природы (conservation ecology).
Какие экосистемы и как восстанавливать вместо нарушенных и разрушенных?	Восстановительная экология (restoration ecology); экологическая инженерия (environmental engineering).
Какие экосистемы и как создавать для локального обеспечения высокого качества жизни людей?	Урбоэкология (urban ecology), агроэкология, прикладная экология (applied ecology).

Проект учитывает текущие достижения организаций-участников. В каждой организации по одному или нескольким направлениям работы центра ведутся исследования мирового уровня или эти исследования являются профильным направлением деятельности организации. Организации-участники имеют: 1) стационары для экспедиционных работ от тундровой до степной зон; 2) коллекции: биологический музей с коллекциями разных типов; ботанические сады с открытым грунтом и оранжереями; гербарии; коллекции микробиологических ресурсов и животных; 3) оборудование для стандартного анализа биоразнообразия и биоресурсов: полевое оборудование; световые и электронные микроскопы; системы пробоподготовки и химического анализа; комплексы для специализированных исследований (дендрохронологических; палеоэкологических, токсикологических, физиологических, биохимических; молекулярных, генетических и др.). К компонентам задела, доказывающим реализуемость создания центра, можно отнести: многолетние массивы данных о локальном и региональном разнообразии и ресурсах ключевых групп биоты (растения, животные, грибы) и состоянии компонентов окружающей среды; наличие обобщений в отношении части групп биоты; владение ключевыми технологиями: молекулярный анализ; метасеквенирование; пространственный анализ; ГИС-технологии и др.; заинтересованность коллективов лабораторий и отделов организаций УрО РАН и некоторых кафедр и лабораторий УрФУ, имеющих международное признание и публикации мирового уровня.

По разным тематическим направлениям проект объединит ведущие исследовательские группы региона. Текущий кадровый и приборный потенциал этих групп в значительной мере законсервирован, ориентирован на выживание, не позволяет достичь качественного изменения масштабов или направлений фундаментальных и ориентированных на практику исследований. С использованием имеющихся ресурсов можно решать текущие стандартные задачи по отдельным секторам современных проблематик, но не новые крупные задачи в масштабах региона. Тем более затруднена смена тематик в рамках действующих бюджетных ограничений в работающих организациях. Создание центра направлено на качественное изменение спектра изучаемых проблем и вопросов.

Пример 1. В качестве примера можно привести исследования слабо интегрированных между собой групп из ИЭРиЖ УрО РАН, ИБ УрО РАН и УрФУ, ориентированных на оценку климатогенной динамики экосистем. Такая тематика – один из мейнстримов современной экологии наземных экосистем. И одновременно – это одно из направлений по мониторингу «быстрых» изменений в биосфере, предполагаемому к развитию в рамках проекта. Группы ИЭРиЖ УрО РАН, ИБ УрО РАН и УрФУ располагают результатами, без всякого сомнения, мирового уровня, занимая в некоторых секторах лидирующие позиции в РФ. Накоплен большой материал о реакции растительности, в меньшей степени, почв ключевых модельных полигонов на климатические изменения последних сотен и десятков лет. Однако, в силу изначальной ориентации на решение фундаментальных задач и ограниченности ресурсов, результаты почти исключительно относятся к экосистемам высокогорий Урала и экотону «лес–тундра». Ответить на вопрос, меняется ли, в каком направлении и как быстро меняется состояние хозяйственно важных равнинных и среднегорных экосистем на материалах, накопленных этими группами, фактически, невозможно. Экстраполяция выводов о динамике высокогорных экосистем на равнинные и среднегорные экосистемы не обоснована, а специальных исследований климатогенной динамики в равнинных и среднегорных лесах Урала не проводилось из-за консервативности стандартных подходов в лесоведении и финансовых ограничений.

Было бы очень оправдано, во-первых, объединить усилия и массивы данных, накопленные разными группами исследователей, во-вторых, интегрировать в анализ данные, накопленные традиционной лесной наукой, в-третьих, с использованием big data analysis ответить, в каком направлении эволюционируют леса, почвы и экосистемы Уральского региона под влиянием климатических изменений, сдвигов в газовом составе атмосферы, изменяющихся форм эксплуатации, фрагментации и других факторов.

Пример 2. Еще одна очевидная необходимость для объединения усилий – анализ биологического разнообразия. Во всех организациях-участниках интенсивно ведутся работы по инвентаризации разнообразия биоты. Прежде всего, изучается разнообразие растений и животных, в меньшей степени – грибов и микроорганизмов. Несмотря на давнюю историю изучения биоразнообразия на Урале, обобщений в этой области недостаточно. Так, «Флора Урала» отсутствует, есть только разной полноты сводки для отдельных областей. Обобщенные и систематизированные сводки по многим группам животных также отсутствуют. Отсутствие биогеографических обобщений затрудняет исследования по многим актуальным темам, таким, например, как биологические инвазии и эволюция сообществ.

В регионе отсутствуют хранилища биокolleкций мирового уровня. Ведущий по числу единиц хранения Биологический музей ИЭРиЖУрО РАН не располагает специализированными помещениями и ограничен в приеме специалистов, желающих работать с уникальными коллекциями. Объединение по единым протоколам в обозримое время результатов инвентаризационных работ было бы весьма продуктивным способом улучшить имидж Урала как центра по изучению биоразнообразия. Еще больше будет способствовать этому совмещение традиционных способов хранения информации о биоразнообразии в виде коллекций и монографий с современными крио- (хранение глубокозамороженных образцов) и цифровыми (виртуальные гербарии, коллекции, банки данных и т.п.) технологиями.

Пример 3. Хорошо известна ключевая роль почвенного покрова в обеспечении стабильности экосистемных функций и услуг. Функционирование почв, в свою очередь, определяется микробиотой – грибами и бактериями. Проекты из области реставрации экосистем, связанные с рекультивацией нарушений земной поверхности, ликвидацией последствий загрязнений, управлением плодородием почв в сельском хозяйстве сталкиваются с необходимостью учета и коррекцией состояния почвенных микроорганизмов. Между тем, изучать микробный блок экосистем на Урале затруднительно, так как для этого отсутствуют современные технологические возможности, такие, например, как метагеномика.

Создание современного полноциклового ЦКП геномных и изотопных методов позволит качественно диверсифицировать и обновить спектр исследовательских вопросов, доступных исследователям Уральского региона. В целом, центр по изучению и управлению биоразнообразием, биоресурсами и экосистемными услугами Уральского региона необходим для решения нескольких взаимосвязанных задач (рис. 1).

- Первая – инфраструктурная: создание в Уральском регионе центра, в котором будут реализованы ключевые современные методы изучения живой природы и экосистем.
- Вторая – качественное обновление направлений ведущихся в регионе фундаментальных и поисковых исследований в рамках экологии наземных экосистем.
- Третья – переход от изучения и инвентаризации биоразнообразия, биоресурсов и экосистемных услуг к управлению ими на основании накопленных знаний.

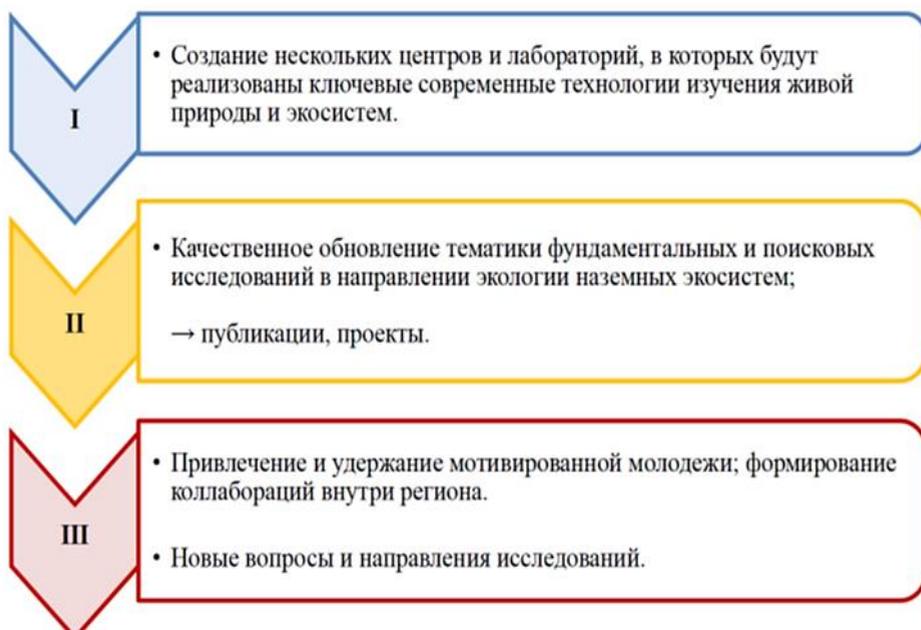


Рис. 1. Этапы реализации проекта по созданию Центра по изучению и управлению биоразнообразием, биоресурсами и экосистемными услугами Уральского региона

Организационная структура центра – центры коллективного пользования (ЦКП) и междисциплинарные лаборатории (МЛ). Создание центра включает инфраструктурный этап и этап собственно научной реализации. На инфраструктурном этапе предусматривается:

- Строительство и оснащение ЦКП по инвентаризации и хранению данных о биоразнообразии Уральского региона:
 - хранилища сухих, влажных и криосохраняемых коллекций;
 - дата-центр по оцифровке и хранению сведений о биологических коллекциях в электронном виде;
 - экспозиционный сектор для популяризации научных исследований и образовательной деятельности.
- Оснащение ЦКП геномных и изотопных технологий, включая:
 - собственно оснащение ЦКП оборудованием (секвенаторы для разных задач, от полногеномного до метасеквенирования – MiSeq (Illumina); NextSeq 550 (Illumina); GridION X5 (Oxford Nanopore Technologies; элементный анализатор и масс-спектрометр для определения стабильных изотопов легких элементов);
 - целевое обучение специалистов (студентов старших курсов) в ведущих образовательных учреждениях по профилю ЦКП; стажировки для освоения методик работы; обучающие семинары и школы;
 - приглашение специалистов в области бионформатики для анализа данных;
- Оснащение МЛ по мониторингу «быстрых» изменений в биосфере и хозяйстве и МЛ по оценке состояния природных объектов и технологиям их охраны и восстановления, включая:

- оснащение МЛ оборудованием (высокопроизводительными компьютерами, системами хранения данных); организация доступа в специализированные хранилища данных;
- привлечение специалистов в областях программирования, анализ данных ДЗЗ, ГИС-технологий, big data analysis; разработка структуры и формирование массивов данных о состоянии компонентов экосистем Уральского региона в разные временные периоды;
- разработка структуры и формирование массивов данных о технологиях оценки состояния природных объектов и технологиям их охраны и восстановления.

Функция ЦКП – быть проводниками новых технологий, позволяя реализовать в экологических исследованиях современные подходы и технологии. Важно организовать в рамках ЦКП преемственное накопление и интеграцию эмпирических данных. Основная функция МЛ – анализ массивов сформированных данных и получение научных результатов. Между ЦКП и МЛ будет реализована внутренняя интеграция. Например, задача «ЦКП по инвентаризации, хранению и анализу данных о биоразнообразии и биоресурсах» – аккумуляция данных о состоянии экосистем путем поддержки соответствующих банков данных. Задачи «МЛ по мониторингу быстрых изменений в биосфере и хозяйстве» – анализ банков данных с привлечением данных ДЗЗ, ГИС-технологий и big data analysis и прогноз состояния компонентов и функций экосистем и экосистемных услуг.

Систематические научные исследования по обозначенным направлениям с использованием ресурсов и возможностей, которые будут созданы на инфраструктурном этапе будут проводиться с учетом:

- объединения многолетних и географически обширных массивов данных с современными методами их анализа;
- интеграции возможностей, данных и компетенций сотрудников организаций-участников.

Основным результатом будет собственно создание лабораторного центра международного уровня с парком приборов, позволяющим вести разнообразные исследования. Это должно способствовать притоку и удержанию в регионе молодых исследователей, ориентированных в настоящее время на зарубежные центры или центры московского региона и Санкт-Петербурга. В результате мы рассчитываем на качественное повышение уровня и числа рейтинговых публикаций и других достижений исследователей Уральского региона. В результате появятся лаборатории, которые станут местом взаимодействия УрФУ и других ВУЗов, как центров подготовки молодых кадров, и Институтов, как мест трудоустройства наиболее мотивированных к исследованиям выпускников.

Потребители результатов исследований: научно-исследовательские и проектные институты естественного и технологического профиля; органы власти всех уровней; бизнес-компании, государственные корпорации, предприятия Уральского региона и других регионов страны.

Введение

Стремительное развитие цифрового общества предопределило появление значительного количества проблем, связанных с разумным хозяйствованием. К таким проблемам следует отнести как усложнение хозяйственной деятельности, в том числе появление новых объектов экономической активности, так и необходимость поиска адекватной парадигмы моделирования экономических процессов.

Усложнение хозяйственной деятельности связано с появлением новых инструментальных возможностей учета и регистрации децентрализованных ресурсов с помощью технологии блокчейна, с развитием новых конфигураций долевой экономики, обеспечивающей более активное участие потребителей в формировании новых продуктов, а также создание новых инструментов активизации хозяйственной деятельности, таких как краудфандинг, фандрайзинг и др. При этом создание новых объектов хозяйственной деятельности не может быть описано в рамках неоклассической парадигмы исследований, так как «мейнстрим» экономической теории двадцатого века основан на принципах, противоречащих изменению правил ведения экономической деятельности. Наиболее адекватной парадигмой исследования феноменов цифрового общества выступает институциональная экономическая теория, обеспечивающая описание правил взаимодействия между экономическими агентами. Вместе с тем, в мировой экономической литературе пока не получила должного освещения теория институционального моделирования экономической деятельности цифрового общества.

Отсюда целью настоящего исследования является разработка принципов и идей институционального моделирования экономики цифрового общества в рамках авторской концепции эконотроники.

Отличия экономики XXI века от экономики XX века

Основные отличия экономики двадцать первого века от экономики двадцатого века заключаются в децентрализации экономических функций, формировании больших массивов данных и внедрении облачных технологий, а также в опережении развития транзакционного сектора экономики перед производственным сектором хозяйствования.

Целесообразность децентрализации экономических функций подробно описана в мировой экономической литературе.

Так показано, что экономическое развитие государства в целом во многом предопределяется децентрализацией государственного управления в сфере промышленности и инфраструктурных проектов [1]. При этом децентрализация общественного бюджета является оптимальным режимом экономического развития, обеспечивающего благополучие населения, при наличии существенных различий между регионами [2].

Однако децентрализация экономических функций не является абсолютным методом решения всех проблем. И если финансовая децентрализация обеспечивает долговременный рост экономики США [3], и децентрализация финансовой политики

¹ Институт экономики УрО РАН, Председатель Объединенного ученого совета УрО РАН по экономическим наукам, член-корреспондент РАН

² Опубликовано: Попов Е.В. Принципы и идеи институционального моделирования эконотроники // Экономика и управление. 2018. № 12 (158). С. 13-22.

привела к ускорению регионального развития в Индонезии [4], то в ряде других стран уход от централизованного управления экономической деятельностью обладает рядом нерешенных проблем. К примеру, децентрализация экономики, финансов и политического устройства Великобритании потребовало радикальных изменений в политэкономических представлениях [5].

Следовательно, децентрализация экономических функций в современных условиях внедрения инноваций представляется целесообразной для улучшения эффективности экономической деятельности. Переходя на уровень экономического моделирования, следует говорить о сделках, иначе говоря, транзакциях. Именно, транзакции как единичные акты процессов передачи прав собственности между активными экономическими агентами (актерами) обеспечивают развитие современных форм хозяйствования. Таким образом, децентрализация транзакций является необходимым условием ускоренного развития экономической деятельности в рамках цифрового общества [6].

При этом рост транзакционного сектора экономики выступает неотъемлемой характеристикой современных хозяйственных систем. Впервые на это указали Дж. Уоллис и Д.Норт при исследовании экономики США за столетний период с 1870 по 1970 годы [7]. Было получено, что за сто лет в экономике США произошел рост транзакционного сектора с 24 до 45 % ВВП.

Современные исследования показывают более стремительное возрастание доли транзакционного сектора экономики. Так, изучение доли транзакционного сектора Свердловской области показало ее возрастание с 2005 по 2009 годы с 26,8 до 29,8 % ВРП, то есть на 3 % ВРП за 4 года [8, с. 252]. При этом доля производственного сектора стремительно сокращается. Таким образом, в настоящее время происходит опережение темпов развития транзакционного сектора экономики перед производственным сектором хозяйствования.

Следовательно, в условиях существенных отличий современной экономики от экономики предшествующего века возникает необходимость введения новой концепции экономического анализа, наиболее адекватного сложившимся реалиям хозяйственной деятельности.

Введение эконотроники

Введение новой концепции экономического анализа, по-видимому, должно опираться на следующие фундаментальные вопросы. Каковы основные объекты экономического анализа? Какая инструментальная парадигма исследований наиболее адекватно описывает развитие хозяйственной деятельности? Каково содержание новой концепции экономического анализа исходя из предшествующих концепций?

Ответ на первый вопрос обусловлен тем, что движущие силы экономики (предприниматели и новаторы) в настоящее время действуют в условиях ускоряющегося внедрения цифровых технологий. Отсюда, основными объектами анализа выступают элементы хозяйственной деятельности, предопределяемые цифровизацией экономики.

К таковым современным объектам экономического анализа следует отнести долевою экономику, применение технологии блокчейна, краудфандинг, фандрайзинг и другие передовые социальные инновации.

Долевая экономика – это технология хозяйствования, где потребители активно участвуют в формировании продукции. Данный метод хозяйствования известен с древнейших времен, но получил наиболее широкое распространение с применением цифровых технологий.

Отметим, что формализация домашних социальных сетей стала возможной с появлением новых цифровых технологий. Это привело к возрастанию социального капитала и экономической мобильности. С другой стороны, развитие сети Интернет в версии Web 2.0 обеспечило возможности моделирования исследовательских и конструкторских работ по потребительским предпочтениям [9].

Долевая экономика может иметь различные формы. Одно из направлений получило название «доступной экономики» (access economy), оно аккумулирует сотрудничество потребителей с целью пересмотра рыночного поведения посредством новых цифровых технологий для увеличения полезности потребляемых благ [10].

«Ячеистая» (mesh) экономика определяется как тренд, когда фирмы на основе мобильных коммуникаций обеспечивают потребителей товарами и услугами исходя из потребностей в реальном времени без необходимости передачи прав собственности между ними [11].

«Коммерческая долевая система» может быть определена как возможность получить полезность от продукта без обладания собственностью [12]. И наконец, «сервисная система» формирует конкурентные сети для удовлетворения потребностей покупателей с учетом окружающей среды [13].

Блокчейн (blockchain) – это многофункциональная и многоуровневая информационная технология, предназначенная для надежного учета различных активов. Можно выделить различные категории блокчейна [14, С. 20]: блокчейн 1.0 – валюта; блокчейн 2.0 – контракты; блокчейн 3.0 – приложения.

Необходимо подчеркнуть, что применение технологии блокчейна основано на децентрализации транзакций. Базовая блокчейн-технология – это распределенный, общедоступный и совместно используемый всеми узлами сети реестр или журнал записей.

Социальные инновации – это новые решения общественных проблем. К социально-инновационной деятельности следует также отнести краудфандинг и фандрайзинг.

Ответ на второй вопрос о наиболее адекватной инструментальной парадигме исследований лежит в возможностях формирования прогнозных оценок. К сожалению, «мэйнстрим» двадцатого столетия – неоклассическая парадигма исследований не сумела обеспечить предсказание мирового экономического кризиса 2008-2009 годов, так как она основана на принципах, противоречащих изменению правил ведения экономической деятельности.

Наиболее адекватной парадигмой исследования феноменов цифрового общества выступает институциональная экономическая теория, обеспечивающая описание правил взаимодействия между экономическими агентами. Институциональная экономическая теория исходит из основной идеи о том, что развитие хозяйственной деятельности определяется институтами, иначе говоря, правилами или устоявшимися нормами взаимодействия между людьми. Пять нобелевских премий по экономике, врученных за развитие институциональной теории, свидетельствуют о значимости институционального подхода для экономических исследований.

Ответ на третий вопрос о содержании новой концепции экономического анализа находится в плоскости рассмотрения предшествующих концепций: социоэкономики, конституционной экономики и др.

Социоэкономика — направление, которое рассматривает человека как имеющего, две базовые потребности и два источника оценки: удовольствие и мораль. Но потребность в удовольствие и наличие морали – это лишь одни из ограничений поведения человека. Институциональная экономика более широко рассматривает деятельность индивида, с разных сторон оценивая его поведение.

Конституционная экономика – направление, описывающее взаимное влияние правовых и экономических факторов при принятии государственных решений, а также взаимоотношения проблем применения Конституции. Но движущие силы развития экономики зачастую инициированы новаторами, не опирающимися на решения проблем применения конституционных прав.

Следовательно, для описания развития современных движущих сил целесообразно применение концепции, учитывающей новые общественные тренды. Подобная концепция была предложена Алвином Гоулднером. Исходя из его исследований, социотроника – это концепция, согласно которой выход из сложившихся социальных патологий может быть совершен исключительно с помощью информатизации современного общества [15]. Отсюда, наиболее близким к предмету исследования, движущим силам развития современной экономики, является экономическая социотроника. В более сокращенном варианте – эконотроника.

Таким образом, эконотроника – это раздел экономики о динамике развития институтов взаимодействия между экономическими агентами и обществом посредством цифровых технологий [16].

Исходя из вышеизложенного, возникает вопрос: на каких принципах и идеях может быть построено моделирование развития объектов эконотроники? Логику ответа на это вопрос выстроим на основе последовательности уровней институционального моделирования: проектирование, распределение, измерение, эволюция институтов.

Проектирование институтов эконотроники

Оценку проектирования институтов эконотроники следует начинать с анализа исследований Э. Остром, лауреата Нобелевской премии 2009 года по экономике. Дизайн системы для эксплуатации ресурсов коллективного пользования должен соответствовать определенному набору принципов – в этом случае осуществляется устойчивое существование режимов коллективной собственности [17]. Передовым достижением для области институционального проектирования является формулирование В. Тамбовцевым принципов институционального проектирования. Институциональное проектирование, с одной стороны, фактор возникновения социально-экономических институтов, а с другой – механизм осуществления институциональных изменений [18]. Оно представляет собой средства решения проблемы упорядочения взаимоотношений, снижения уровня неопределенности.

Таким образом, первый научный принцип институционального моделирования эконотроники можно сформулировать следующим образом: *проектирование экономических институтов основано на выполнении определенных правил построения, описывающих спецификацию использования ресурсов.*

Указанный принцип был применен автором с коллегами при проектировании институциональной инфраструктуры социального предпринимательства. Социальное предпринимательство — это совокупность взаимосвязанных видов деятельности, направленных на решение социальных проблем путем развития коммерческой деятельности экономических агентов. В этом случае важен приоритет общественных целей и создание социальных благ над экономическими целями, что отличает социальных предпринимателей от традиционных бизнесменов.

На основе результатов авторских исследований можно интегрировать формальные институты развития социального предпринимательства в три группы: регулятивные, поддерживающие и когнитивные институты.

Отсюда может быть сформулирована первая научная идея моделирования эконотроники в следующей формулировке. *Проектирование институциональной*

инфраструктуры эконотроники обусловлено разделением групп институтов по выполняемым задачам применения различных ресурсов.

Научная идея проектирования институтов была реализована в прикладной матрице «ресурсоемкость – скорость внедрения», верифицированной на примере цифровых проектов развития Екатеринбурга (рис. 1).

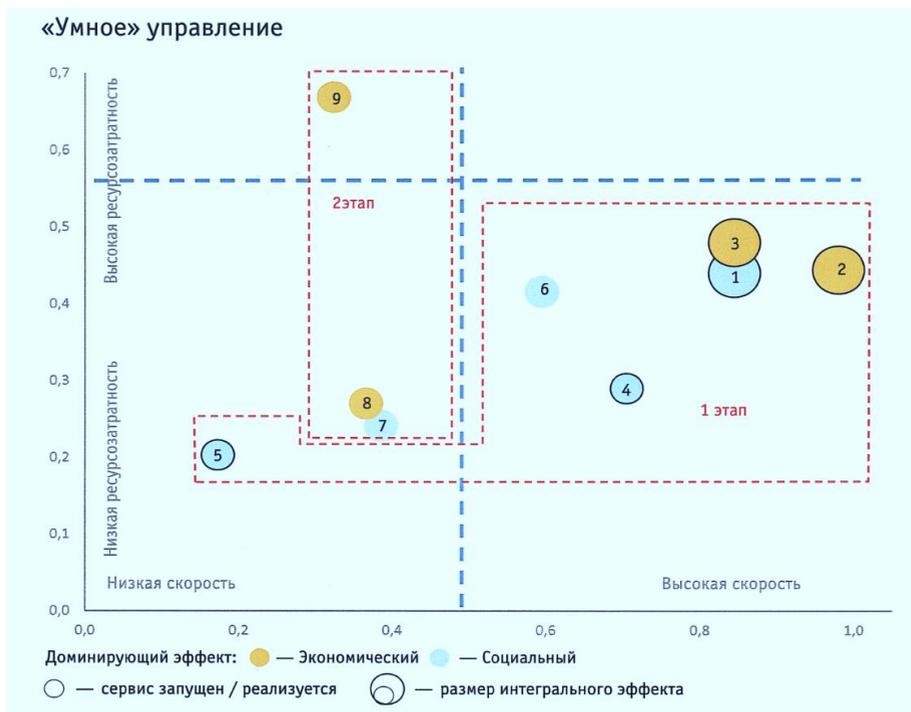


Рис. 1. Зависимость ресурсозатратности проектов развития Екатеринбурга как умного города от скорости внедрения проектов [19]:

1. единый портал предоставления государственных услуг в электронном виде; 2. электронный документооборот; 3. платформы межведомственного взаимодействия; 4. порталы предоставления актуальной информации и консультаций различным слоям населения; 5. сервисы информирования граждан о функционировании органов местного самоуправления; 6. системы электронных референдумов; 7. сервисы оперативного информирования о доступных льготах, формах поддержки; 8. сервисы оперативного информирования местных субъектов малого и среднего предпринимательства о проводимых закупках

Следующим важным направлением моделирования экономических институтов эконотроники является их распределение.

Распределение институтов эконотроники

Модель распределения экономических институтов может быть представлена в виде иерархии правил Дж. Бьюкенена или теории социальной кластеризации В. Макарова.

Дж. Бьюкенен отмечал: «Прежде чем приступать к анализу последствий различных политических мероприятий, сформулировать некоторую модель государства, политики. Настоятельно советую экономистам обратиться к «конституции экономического устройства», исследовать правила, ограничения [институты – Е.П.], в которых действуют политические деятели» [20].

На иерархии различных институтов построена также теория социальной кластеризации В. Макарова [21]. Основное отличие между кластерами заключается в различных социальных функциях с соответствующей иерархией институтов.

Таким образом, второй научный принцип можно сформулировать так: *моделирование распределения экономических институтов возможно на основе иерархии функционального наполнения данных устоявшихся норм взаимодействия между экономическими агентами*, подобно распределению политэкономических институтов по Дж. Бьюкенену или социальных институтов по В. Макарову.

Моделирование распределения экономических институтов можно интерпретировать на анализе технологии блокчейна. Применение технологии блокчейна основано на децентрализации транзакций и экономических функций. Базовая блокчейн-технология – это распределенный, общедоступный и совместно используемый всеми узлами сети реестр или журнал записей. Журнал отслеживается всеми желающими, но при этом никем не контролируется. «Он подобен гигантской общедоступной таблице, которая периодически обновляется и подтверждает уникальность цифровых операций перевода денежных средств» [14, С. 33] или других транзакций.

В табл. 1 представлены примеры деятельности в рамках технологии блокчейна.

Таблица 1

Примеры деятельности в рамках технологии блокчейна (составлено автором по [14])

Вид деятельности	Деятельность	Примеры деятельности
Финансовые сервисы	Взаимодействие криптовалют с традиционными финансами	Ripple Labs, PayPal
	Кредитование	Платформа BTCJam
	Биржа биткойнов	Bitcoin
Краудфандинг	Инкубатор стартапов в области цифровых валют	Swarm
	Формирование социальной сети	Koinify
	Гарантийные контракты	Lighthouse
Ведение «умных» активов	Ведение реестров	Встроенные в смартфон (для доступа к блокчейну) технологические решения: программный код, QR-коды, теги NFC, iBeacons и др.
	Инвентаризация	
	Учет операций с активами	
	Операции с реальными товарами	
	Голосование	
	Формирование репутации	
Распределенные организационные модели	Децентрализованная система доменных имен	Namecoin
	Распределение информации	Wikipedia
	Создание неизменяемых исторических записей	Alexandria, Ostel
	Идентификация личности	OneName, BitID
Разработка «кошельков»	Платежи, сеть переводов	Ripple
	Протокол для выпуска и обмена валют	Counterparty
	Вычислительная платформа	Ethereum
	Производные финансовые инструменты	Mastercoin
	Децентрализованная биржа криптоакций	BitShares

Анализ применения технологии блокчейна демонстрирует децентрализацию транзакций как основу применения данных технологий. Исходя из свойств технологии блокчейна (спецификация правил, распределенность ресурсов, доступность информации) могут быть сформулированы следующие положения институционального дизайна децентрализации транзакций эконотроники [6].

Первое. Эффективность применения блокчейна определяется спецификацией правил пользования информационными ресурсами. Подобная спецификация правил обеспечивает коды доступа пользователей в блокчейн.

Второе. Экономическая целесообразность применения блокчейна обусловлена пространственной распределенностью учитываемых ресурсов. Свойство распределенности ресурсов характерно как для реальных товаров, так и для виртуальной деятельности (голосование, поддержка репутации, страхование и др.).

Третье. Потребительская полезность применения блокчейна определяется доступностью информации для пользователей данной технологии. Доступность информации обеспечивает как многосторонний контроль над сервисами блокчейна, так и возможность оперативного применения результатов учета различных активов.

Следовательно, возможна следующая формулировка второй научной идеи теории моделирования эконотроники. *Моделирование распределения экономических институтов эконотроники предопределяется децентрализацией транзакций, которая может быть структурирована в рамках технологии блокчейна.*

Прикладным применением моделирования экономических институтов является построение институциональных атласов.

Очередным важным направлением моделирования экономических институтов является их измерение.

Измерение институтов эконотроники

Измерение экономических институтов возможно на основе теории транзакционных издержек лауреата Нобелевской премии по экономике 1991 года Р. Коуза.

В своей статье «Природа фирмы» он отмечал: «Для [установления цен – Е.П.] нужно провести переговоры, заключить контракты, выполнить разного рода проверки, заключить соглашения по улаживанию разногласий и т.д. Эти издержки получили название транзакционных издержек» [22].

Следовательно, Р. Коуз определил связь институциональной структуры и транзакционных издержек. Исходя из этого, третий научный принцип может быть сформулирован таким образом: *институциональная структура экономической системы может быть измерена издержками транзакций на формирование и поддержание данных экономических институтов*, подобно оценке транзакционных издержек по Р. Коузу. При этом измерение институциональной структуры социально-инновационных проектов может быть измерена по результативности реализации экономических институтов.

Для учета частных и общественных выгод автором настоящего исследования совместно с соавторами, была разработана матрица оценки результативности социальных инноваций (рис. 2).

Таким образом, может быть сформулирована третья идея институционального моделирования эконотроники. *Измерение экономических институтов эконотроники может быть основано на результативности их применения посредством оценки коммерческих и общественных выгод.*

Прикладное применение третьей научной идеи нашло свое отражение при разработке матрицы текущего состояния институциональной среды локальных

общественных благ. Важным направлением институционального моделирования является разработка моделей эволюции экономических институтов.

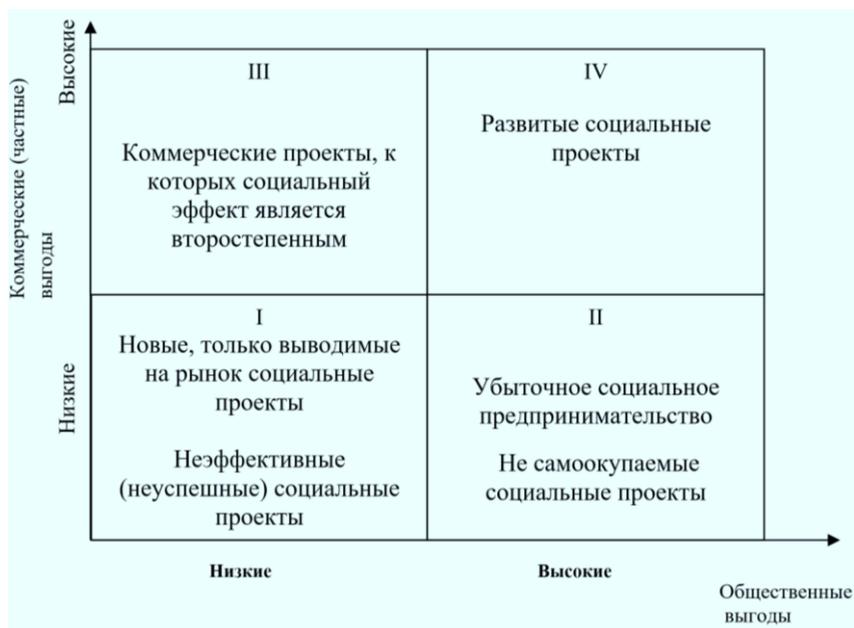


Рис. 2. Матрица результативности социальных проектов [23]

Эволюция институтов эконотроники

Значительное количество российских и зарубежных исследований посвящено модельному описанию эволюции экономических институтов. В этом ряду, среди отечественных разработок, наиболее представительно выглядят теория реформ В. Полтеровича и теория макрогенераций В. Маевского.

Теория реформ В. Полтеровича [24] описывает наиболее оптимальную последовательность развития институциональной общественной структуры при имплантации извне экономических институтов. Теория макрогенераций В. Маевского [25] основана на принципе эволюционного изменения институциональной структуры благодаря внедрению инновационных разработок.

Отсюда, четвертый научный принцип может быть сформулирован следующим образом: *моделирование эволюции институтов возможно на основе формализации ресурсного потенциала и существующей институциональной инфраструктуры экономической системы*, подобно модельным подходам теории реформ В. Полтеровича и теории макрогенераций В. Маевского.

Применение новых экономических инструментов эконотроники позволяет ускорить развитие новых проектов и явлений в социальной сфере.

Одним из новых социальных явлений, получивших наибольшее развитие благодаря цифровой экономике, выступает формирование и реализация механизмов долевой экономики. Долевая экономика (или экономика обмена) – это стимулирование участия потребителей в разработке и реализации продукции посредством применения цифровых технологий. Примеры деятельности долевой экономики представлены в табл. 2.

Таблица 2

Примеры деятельности в рамках долевого экономики [11]

Вид деятельности	Деятельность	Примеры деятельности
Предоставление услуг	Возможности автопоездки	Blablacar
	Аренда на время (timesharing)	Room4exchange
	Использование инструментов	Selfservegarage.com
	Участие в приготовлении пищи	BonAppetour
	Участие в работе такси	Uber, ЯндексТакси
Предоставление вещей	Обмен	OLX, Allegro, EBay, Amazon
	Заимствование	
	Пожертвование	
	Бартер	
	Лизинг	
	Аренда	
Предоставление ресурсов	Перераспределение энергии	Vanderbron in Netherlands
	Перераспределение пищи	Food Combay, Food Loop
Предоставление технологий	Совместное использование	Платформы открытых источников
	Преподавание/обучение	Открытые учебные курсы
Предоставление финансов	Кредитование	Платформы кредитования
	Предоставление денег	Биткойн
	Страхование	Объединенная политика страхования
	Оптимизация инвестиций	Объединение наличных платежей

Следовательно, можно сформулировать четвертую идею теории институционального моделирования эконотроники: *эволюция институциональной инфраструктуры социальных проектов обусловлена применением методов реализации долевого экономики*. К методам реализации долевого экономики следует отнести методы цифровых технологий, включающих применение мобильной связи и передачи данных через сеть Интернет (версия Web 2.0), а также применение системы взаиморасчетов на основе криптовалюты.

Прикладное применение реализации четвертой идеи институционального моделирования эконотроники нашла в разработке модели институционального механизма формирования социальных инноваций.

Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования с целью разработки принципов и идей институционального моделирования экономики цифрового общества в рамках авторской концепции эконотроники получены следующие теоретические результаты.

Во-первых, выделены отличия экономики двадцать первого века от экономики двадцатого века, которые заключаются в децентрализации экономических функций, формировании больших массивов данных и внедрении облачных технологий, а также в опережении развития транзакционного сектора экономики в сравнении с развитием производственного сектора хозяйствования.

Во-вторых, введена авторская концепция эконотроники как раздел экономики о динамике развития институтов взаимодействия между акторами и обществом посредством цифровых технологий.

В-третьих, исходя из предыдущих исследований зарубежных и российских ученых определены научные принципы институционального моделирования объектов эконотроники.

В-четвертых, на основе авторских разработок сформулированы научные идеи моделирования при разделении групп институтов по выполняемым задачам применения ресурсов, структурировании децентрализованных транзакций в рамках технологии блокчейна, измерении институтов по результативности их применения, для эволюции социальных проектов посредством применения методов реализации долевой экономики.

В-пятых, прикладное применение теория институционального моделирования эконотроники получила в методиках эмпирической оценки институциональной среды социального предпринимательства, развития трудовых ресурсов посредством технологии блокчейна, формирования матрицы текущего состояния институциональной среды локальных общественных благ, институциональном механизме формирования социальных инноваций.

Институциональное моделирование эконотроники дает возможность обеспечивать разумное хозяйствование с целью прогнозирования дальнейшего развития движущих сил экономики в современных условиях цифрового общества.

Литература

1. *Bardhan P.* State and Development: The Need for a Reappraisal of the Current Literature //Journal of Economic Literature. 2016. 54(3). P. 862-892.
2. *Arcalean C., Glomm G., Schiopu I., Suedekum J.* Public Budget Composition, Fiscal (De)Centralization and Welfare. Center of Applied Economics and Policy Research of Indiana University. Working Paper. 2003. No. 2007-003. 33 pp.
3. *Xie D., Zou H., Davoodi H.* Fiscal Decentralization and Economic Growth in the United States //Journal of Urban Economics. 1999. 45(1). P. 228-239.
4. *Matsui K.* Post-Decentralization Regional Economies and Actors: Putting the Capacity of Local Governments to the Test //The Developing Economies. 2005. XLIII(1). P. 171-189.
5. *Martin R., Pike A., Tyler P., Gardiner B.* Spatially Rebalancing the UK Economy: Towards a New Police Model? //Regional Studies. 2016. 50(2). P. 342-357.
6. *Понов Е.В.* Децентрализация транзакций эконотроники //Инновации. 2018. № 3 (233). С. 8-13.
7. *Wallis J., North D.* Measuring the transaction sector in the American economy, 1870-1970 //Long-Term Factors in American Economic Growth, edited by Stanley L. Engerman and Robert E. Gallman. Chicago: University of Chicago Press. 1986. P. 95-148.
8. *Понов Е.В.* Институты. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН. 2015. 712 с.
9. *Afonso O., Bandeira A.M.* Maintenance and Destruction of R&D Leadership //The Manchester School. 2012. 80(6), P. 740-751.
10. *Denning S.* An Economy of Access is Opening for Business: Five Strategies for Success //Strategy & Leadership. 2014. 42(4). P. 14-21.
11. *Szetela B., Mentel G.* May the Sharing Economy Create a New Wave of Globalization? //Economic Annals. 2016. 161(9-10). P. 31-34.
12. *Lamberton C.P. & Rose R.* When is Our Better than Mine? A Framework for Understanding and Altering Participation in Commercial Sharing Systems //Journal of Marketing. 2012. 76(4). P. 109-125.
13. *Mont O.* Clarifying the Concept of Product-Service System //Journal of Cleaner Production. 2002. 10(3). P. 237-245.
14. *Свон М.* Блокчейн: схема новой экономики. М.: Олимп-Бизнес. 2016. 224 с.
15. *Gouldner A.W.* Dialectics of Ideology and Technology. New York: The Free Press. 1976. 415 pp.
16. *Понов Е.В.* Эконотроника //Экономика региона. 2018. Т. 14. Вып.1. С. 13-28.

17. *Ostrom E.* Collective Action and the Evolution of Social Norms //Journal of Economic Perspectives. 2000. 14(3). P. 148-165.
18. *Тамбовцев В.Л.* Теории институциональных изменений: МГУ им. М. В. Ломоносова. Экон. фак. М.: ИНФРА-М. 2008. 180 с.
19. *Popov E., Kortov S., Semyachkov K.* Intellectual Capital of Smart Cities as Objects for Institutional Modeling. Proceedings of the 10th European Conference on Intangibles and Intellectual Capital. Italy: University of Chieti-Pescara. 2019. P. 210-217.
20. *Buchanan J.* How can constitutions be designed so that politicians who seek to serve «public interest» can survive and prosper? //Constitutional Political Economy. 1993. 4(1), P. 1-6.
21. *Макаров В.Л.* Социальный кластеризм. Российский вызов. М.: Бизнес Атлас. 2010. 272с.
22. *Coase R.H.* The Nature of the Firm //Economica. 1937. 4(10), P. 386-405.
23. *Popov E.V., Veretennikova A.Yu., Omonov Zh.K.* A Social Innovation Impact Assessment Matrix //Digest Finance. 2017. 22(4). P. 365-378.
24. *Полтерович В.М.* Общий институциональный анализ и проектирование реформ //Журнал новой экономической ассоциации. 2013. № 1(17). С.185-188.
25. *Maevsky V., Kazhdan M.* The Evolution of Macrogenators //Journal of Evolutionary Economics. 1998. 4. P. 407-422.

И.В. Побережников¹

Современные вызовы развитию России и социально-гуманитарная экспертиза

Стратегии развития гуманитарного знания в России должны разрабатываться, с одной стороны, с учетом глобальных вызовов, стоящих перед человечеством в целом (изменение климата, глобализация, миграции, растущая политическая радикализация, рост терроризма и экстремизма, быстрое и массовое увеличение потоков данных и информации, кибератаки и т.д.), с другой – специфики и потребности современной России. В «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной 1 декабря 2016 г., в качестве одного из приоритетов заявляется обеспечение «возможности эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий...», в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук.

Проблема вызовов и ответов, с которыми сталкивается страна, не нова и не является чем-то специфическим для XXI в. В «Стратегии...» указаны конкретные типы больших вызовов, в частности (при этом «корни» подобных вызовов или схожие проблемы развития можно обнаруживать в истории страны и в XIX, и в XVIII вв.; пожалуй, к числу вечных российских проблем (вызовов) можно отнести проблемы обеспечения безопасности и освоения и организации пространства):

- рост рисков для жизни и здоровья граждан в результате неэффективного использования природных ресурсов и возрастания антропогенных нагрузок на окружающую среду;
- исчерпание возможностей экономического роста России, основанного на экстенсивной эксплуатации сырьевых ресурсов, на фоне появления стран-лидеров, обладающих новыми производственными технологиями;

¹ Директор Института истории и археологии УрО РАН, доктор исторических наук

- демографический переход, обусловленный увеличением продолжительности жизни людей, изменением их образа жизни, и связанное с этим старение населения;
- новые внешние угрозы национальной безопасности (в том числе военные угрозы), обусловленные ростом международной конкуренции и конфликтности, глобальной и региональной нестабильностью;
- необходимость эффективного освоения пространства, в том числе путем преодоления диспропорций социально-экономического развития территорий страны.

Представляется, что подход, сформулированный в «Стратегии...» требует определенной трансформации научного поиска в гуманитарной сфере, его прагматизации, в частности, путем объединения и кооперации интеллектуально-научных ресурсов и исследовательских возможностей гуманитариев для разработки и внедрения в практику социального управления передовых технологий, основанных на системном использовании различных элементов гуманитарного знания (информация, идеи, схемы, знаковые системы, квалификации, психологические модели, правовые и этические регуляторы, методики образования, культурные ценности и т.п.), с целью оптимизации принимаемых управленческих решений в аспекте максимально полного и гармоничного учета интересов и жизненных стратегий различных социальных групп, всестороннего развития человеческого потенциала, раскрытия его коллективных и индивидуальных возможностей на благо общества. В этой связи особую актуальность приобретает задача усиления экспертно-аналитической и социально-регулятивной функций гуманитарного знания, использования исторического опыта для подготовки и воспитания национально ответственной, высококультурной и профессионально грамотной управленческой элиты.

Социально-ориентированные технологии использования гуманитарных знаний можно определить как гуманитарные технологии. Возможными областями и направлениями применения гуманитарных технологий могут быть повышение качества принимаемых и реализуемых социальных программ и проектов, повышение эффективности образовательной деятельности, формирование исторического самосознания общества и воспитание на его основе лучших гражданских качеств, сохранение культурных ценностей и приумножение культурного потенциала общества, формирование гармонично развитой личности и развитие ее креативных способностей.

Специализированной областью применения гуманитарных технологий является социально-гуманитарная экспертиза, понимаемая как целенаправленно организуемая на междисциплинарной, комплексной основе научно-экспертная исследовательская деятельность, призванная в опережающем режиме реагировать на возможные негативные последствия для общества, его отдельных социальных и этнических групп, а также личности в целом принимаемых экономических, технологических, социальных, экологических и др. программ и проектов и предлагать их научно обоснованную корректировку под углом зрения оптимизации их социальной и гуманитарной составляющей. Социально-гуманитарная экспертиза в большинстве случаев не является одноактным мероприятием, завершающимся принятием управленческого решения; она предусматривает непрерывный и чуткий мониторинг проблем и одновременно осуществление диалога сторон, ответственных за реализацию принимаемых решений или вовлеченных в проекты развития.

Последние десятилетия XX в. и начало XXI в. в гуманитарном знании прошли под знаком антропологического поворота, легитимировавшего многогранное изучение индивида в его повседневной, эмоциональной, культурной, интеллектуальной жизни, стилей и стратегий поведения, отдельных жизненных ситуаций, человеческого восприятия себя самого, возраста, статуса, здоровья, болезни, телесности, пола,

сексуальности, женского и мужского, нормативно-правовых и религиозных предписаний, кросскультурного разнообразия жизненного опыта людей в разных социальных группах, сообществах, культурах. Антропологический акцент способствовал миниатюризации методов и масштабов исследования, увлечению локальным, казусным. В последнее время, однако, вновь растет интерес к постановке «больших» проблем, к макроуровневым обобщениям, что является естественным ответом на последствия глобализации, проявляющей себя во многих измерениях, на очевидную недостаточность и односторонность исследований, сфокусированных только на микро-масштаб. Дело в том, что исторический процесс конструируется действиями людей, постоянно вступающих во взаимодействия. Однако, исторические персонажи действуют в «обжитой» среде, заполненной унаследованными от прошлого социальными структурами (технологическими, экономическими, социальными, политическими, институциональными, культурными, ментальными и т. д.), связанной глобальными зависимостями, обусловленными иерархическим устройством миропорядка, «пронизываемой» эстафетными механизмами, которые создаются самими людьми, теряющими впоследствии индивидуальный контроль за действием данных механизмов.

В этой связи адекватную теоретико-методологическую основу для обсуждения указанной проблематики дает современная структурационная теория, которая ориентирует исследователей на анализ взаимодействий между унаследованными социальными структурами (экономическими, социальными, политическими, институциональными, культурными, ментальными и т. д.) и действиями исторических агентов, наделенных волей и свободой выбора, между структурной детерминантностью и человеческими возможностями выходить за рамки установленных прошлым ограничений. Сторонники структурационного подхода, таким образом, стремятся оценить вклад в обеспечение исторической динамики как структур, так и социальных действий, гармонизировать взаимодействие этих фундаментальных социальных факторов, замкнув их в своего рода логическом цикле структуризации.

Возможные направления разработок:

- «Большие вызовы» в истории России: опыт и стратегии системных ответов.
- Исторический опыт пространственного развития России: взаимосвязь геополитических и региональных факторов.
- Историко-культурное наследие: стратегии актуализации и технологии сбережения.
- Технологии выработки общественного согласия.
- Технологии юридических экспертиз и правового обеспечения.

«Большие вызовы» в истории России: опыт и стратегии системных ответов.

Ставится цель концептуальной разработки широко применяемого в современном стратегическом планировании понятия «большие вызовы» (см. Стратегию научно-технологического развития РФ, утвержденную Указом Президента РФ от 1.12.2016 № 642) как обозначения совокупности проблем, угроз и возможностей, объективно требующих от государства незамедлительной реакции и нестандартных эффективных ответов.

Это делает чрезвычайно актуальным обращение к теоретическому анализу и осмыслению понятия «вызов» в контексте исторического опыта – как обозначения узловых проблемных ситуаций, разрешение которых не только требует напряженных усилий со стороны государства и общества, но и открывает перед ними новые перспективы развития, ведет к позитивным качественным преобразованиям социально-институциональной системы.

Поскольку по ряду структурных параметров и масштабу проявления современные «большие вызовы» напоминают крупные комплексы проблем, которые России приходилось решать на длительном пути перехода от традиционного аграрного общества к современному индустриальному (XVI–XX вв.), обобщение исторического опыта выработки эффективных системных ответов на «большие вызовы», встававшие перед Россией в имперскую и советскую эпохи ее развития, помогает понять совокупность условий, факторов и акторных стратегий, которые в своем системном единстве позволяют стране успешно и динамично продвигаться вперед по пути модернизации, повышать эффективность реформирования общества (Алексеев В.В., Зубков К.И., Побережников И.В. Большие вызовы в истории имперской России: цивилизационное и геополитическое измерение // *Quaestio Rossica*. Т. 5. 2017. № 3. С. 619-634).

Применение модели «исторические вызовы и механизмы их преодоления» для изучения российских модернизаций существенно расширяет пространство изучения российских модернизаций, позволяя перейти от традиционно распространенных трудов по истории отдельных процессов (индустриализации, урбанизации, демократизации и т.д.) к проблемному и дифференцированному анализу конкретных российских модернизаций, вызванных определенными причинами (которые могут быть связаны с экологическими, геополитическими, военно-технологическими, цивилизационными и т.д. вызовами). В данном познавательном контексте полезным оказывается инструментальный исторический опыт, в основе которого лежит повторяемость, функционирование в истории на разных ее стадиях, в различных исторических и пространственных условиях схожих механизмов, процессов, проектов и т.д. Инструментальный исторический опыт дает, посредством сравнения, ценную информацию, как положительную, так и отрицательную, о диапазонах, режимах, последствиях деятельности тех или иных исторических механизмов, о возможностях и границах волевого вмешательства в такую деятельность. Такой инструментальный исторический опыт может сослужить ценную службу сегодня в условиях постоянного ориентирования на модернизацию, опыт которой применительно к различным регионам мира весьма богат и неплохо изучен.

Кроме того, значимыми в научном плане представляются задачи:

- дать научную типологию исторических вызовов, определить степень и характер их влияния на ход российской истории (экологические; геополитические; демографические; военно-технологические; социокультурные (идентификации) и т.д.);
- определить механизмы идентификации вызовов, разработки стратегий их преодоления, приоритеты и последовательность в решении задач политики модернизации.
- идентифицировать субъектов социальных перемен, социальные движения и «коалиции развития» на разных этапах модернизации в контексте исторической специфики России;
- выявить механизмы и этапы общественной борьбы за различные проекты модернизации как отражения различных общественных представлений о вызовах модернизации (осознание модернизации как публичного интереса, восприятие её обществом как жизненной необходимости, формирование общественного запроса на модернизацию, проекты модернизации);
- выявить универсальные и национально-страновые характеристики российской модели модернизации, ее периодизацию с учетом национального своеобразия исторических вызовов и механизмов их преодоления.

При этом в целом предлагается, по сути, новый подход в изучении исторической макродинамики, сфокусированный не на совокупность автоматически действующих подпроцессов, а на узлы напряжения, связывающие структурные обстоятельства, действия социальных страт, элит, групп интересов. В конце концов, подобный подход интересен в плане выявления универсальных и национально-страновых характеристик российской модели развития с учетом странового своеобразия исторических вызовов и механизмов их преодоления (в этом состоит его смысл для развития фундаментального знания). Но помимо фундаментального предложенный подход имеет и прикладное значение, поскольку методы, разрабатываемые в его рамках, могут быть применены для изучения современных вызовов, стоящим перед российским обществом и государством.

Анализ исторического опыта России посредством методологической схемы «вызов – ответ» позволит взглянуть на прошлое страны под новым углом зрения, по-новому оценить конкретные ситуации, стратегии и последствия проводимых реформ, сущность противоречий, сопровождавших их проведение, и эффективность их разрешения. Такой ракурс исследования, нацеленный на извлечение исторического опыта, в конечном счете, приобретая экспертное звучание, может быть полезен для научно обоснованного, стратегически дальновидного, грамотного формулирования системных ответов России на современные «большие вызовы».

В этом контексте особый интерес представляют модели прошлого, связанные с повышением эффективности акторного взаимодействия, формированием так называемых «коалиций развития», т.е. вовлечением в масштабные исторические преобразования максимально широкого круга социальных групп интересов и созданием условий для максимально полного раскрепощения креативного потенциала общества.

Не менее важным результатом применения такого подхода может стать оригинальная, прагматически-ориентированная версия российской истории, что очень важно для усовершенствования и обновления концепции исторического образования в стране на всех уровнях обучения.

Исторический опыт пространственного развития России: взаимосвязь геополитических и региональных факторов

Цель – на основе обобщения и систематизации исторического опыта выявить закономерные взаимосвязи между трансформационными сдвигами в региональной структуре России, а также изменяющимися целевыми приоритетами регионального развития, и теми глобальными (мирохозяйственными, геополитическими, энвайронментальными и др.) вызовами, на которые приходилось отвечать России в ходе своего исторического развития.

В современных условиях усиление конкурентных преимуществ регионов – субъектов РФ, оптимальное профилирование их экономической специализации, максимизация их полезной функции в системе национальной экономики и национальной безопасности в значительной, если не критической, степени зависят от комплексного учета глобальных (внешних) и внутренних вызовов, включая как недоиспользованные ресурсы и возможности, так и существующие ограничения инерционного свойства (природные, демографические, инфраструктурные и др.).

Исторический опыт России в области стимулирования крупных сдвигов в пространственной организации экономики (включая оптимальные схемы размещения производительных сил, распределения населения и трудовых ресурсов, транспортно-инфраструктурного развития, эшелонирования систем безопасности и обороны) и управления этими процессами содержит в себе как блестящие примеры форсирования

позитивных, общественно-необходимых тенденций пространственного развития (массовые аграрные переселения в Сибирь в 1880-х – 1920-х гг., индустриальный «восточный сдвиг» 1930-х – 1970-х гг., освоение Арктики и др.), так и стратегических неудач в поддержании этой динамики (провал программы развития русского Нечерноземья, тенденция «сжатия» ареалов эффективного экономического развития, отток населения с Севера и Дальнего Востока в 1980-е – 1990-е гг., сверхконцентрация населения в мегаполисах, деградация сельских зон и т.п.).

Эти успехи и неудачи находились в тесной взаимосвязи с усилением или ослаблением геополитических позиций России на различных направлениях взаимодействия с внешним миром. Учет негативного и позитивного опыта разработки и реализации стратегических решений в области пространственного развития позволит перейти к моделированию алгоритмов повышения его эффективности и управляемости, предложить оптимальные системные решения для многих современных проблем с учетом тесной взаимосвязи глобальных и внутренних факторов.

В конечном итоге данное направление исследований должно содействовать конструктивному концептуальному разрешению ряда критических проблем пространственной политики, перечисленных в утвержденной Правительством РФ Стратегии пространственного развития РФ до 2025 г. (№ 3414п-П16 от 22 мая 2017 г.).

Историко-культурное наследие: стратегии актуализации и технологии сбережения

Исторический опыт выполняет и идентифицирующую функцию. Исторический опыт, знание себя и своего места в мире придает смысл национальному развитию, обеспечивает обществу национальную идею (последняя в этом смысле действительно спонтанно вырастает «из истории», социальной памяти, исторического опыта). В этом контексте понятной становится потребность в сохранении и актуализации историко-культурного наследия.

Целью данного направления является практическая деятельность, связанная с сохранением историко-культурного наследия различных регионов России, а также изучение этого наследия. Особо значимой является этнологическая экспертиза, ставшая сегодня частью политического менеджмента. Изначально она была задумана как инструмент прогнозирования последствий реализации проектов, затрагивающих интересы коренного населения.

На территории Российской Федерации этнологические экспертизы проводятся в основном в отношении коренных малочисленных народов и связаны с ресурсоосвоением. Важным результатом в этом направлении стало законодательное движение, которое постепенно идет к нормативному закреплению процедуры этнологической экспертизы.

Подготовка предложений по этому вопросу ведется по поручению президента Российской Федерации (пункт 3 перечня поручений Президента Российской Федерации В. В. Путина по итогам заседания Совета при Президенте Российской Федерации по межнациональным отношениям 31 октября 2016 г. от 4 декабря 2016 г.) Федеральным агентством по делам национальностей совместно с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, Институтом этнологии и антропологии им. Н. Н. Миклухо-Маклая РАН, Ассоциацией коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации, Комитетом Совета Федерации по федеративному устройству, региональной политике, местному самоуправлению и делам Севера.

Предполагается, что первоначально правовое оформление будет реализовано в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации и только потом будут выработаны рекомендации для всей территории страны.

В рамках данного направления спектр этнологической экспертизы предполагается расширить не только в отношении проблемных (часто конфликтных) проектов, связанных с ресурсным освоением тех или иных территорий, но и проектов, направленных на сохранение этнокультурного наследия, включая и археологическое достояние, поскольку они играют ключевую роль в самоопределении этнических сообществ как в прошлом, так и в современных условиях «глобализации» — сочетании трендов унификации и специализации (сохранения оригинальности) культур.

Этнологическое направление будет акцентироваться на темах:

- 1) этнокультурное наследие и современные проблемы идентичности;
- 2) актуализации этнокультурного наследия и стратегии сохранения, использования и современные формы презентации историко-культурного наследия (создание методологической и методической базы, охрана и использование памятников, музеефикация);
- 3) этнологическая экспертиза (теоретические разработки и практики).

В этой связи предполагается не просто исследование этнографических памятников, но и выработка предложений по их сохранению и популяризации, продолжение сбора и систематизации традиционных знаний, анализ и контроль современных ситуаций в области межэтнических отношений народов Урала, Сибири и Севера России, а также сопредельных территорий. В качестве практической реализации планируется развернут комплекс прикладных археологических и этнологических работ, в выполнении которых наряду с методами различных гуманитарных дисциплин (этнографии, археологии, истории, языкознания, музееведения) будут использованы естественнонаучные и геоинформационные методы.

Использование в качестве одной из «экспериментальных площадок» проекта, например, территории Удмуртии позволит осуществить не только системную реконструкцию «местного» историко-культурного наследия. Разработка математических моделей и методов распознавания и визуализации (в т.ч. картографической) исторической и лингвокультурологической информации, создание Национального корпуса удмуртского языка с целью выявления его особенностей, закономерностей и типологии с другими финно-угорскими языками, моделирование на основе компьютерного картографирования поселенческой, административно-территориальной структуры Удмуртского Прикамья XV–XX вв., комплексное изучение и мониторинг этнокультурных взаимодействий и современных этноконфессиональных процессов народов Урало-Поволжья, – все это также позволит спрогнозировать современные историко-культурные изменения и выявить связанные с ними факторы стабильности и потенциальные риски.

Реализация проекта на территории Коми Республики, в свою очередь, позволит объективировать специфику историко-культурных и этнических процессов на Европейском Севере России и в Приуралье, выявить общие и особенные черты этих процессов, а также обозначить их контуры в будущем. Проблемное поле проводимых здесь исследований прежде всего будет предполагать изучение таких тем, как: динамика освоения этих территорий и вызванные этим освоением изменения в традиционном образе жизни коренных народов (напр., изменение системы зимнего землепользования среди оленеводов Европейского Севера России и Западной Сибири в первом десятилетии XXI в.), стратегии адаптации и межкультурного диалога (напр.,

межязыковые контакты и вызванные ими заимствования), факторы, влияющие на производство и воспроизводство этничности и связанные с этим риски межэтнической конфликтности.

В качестве результата реализации данного направления предусматривается подготовка документации и проведение историко-культурной экспертизы территорий, подлежащих хозяйственному освоению, разработка проектной документации по обеспечению сохранности объектов культурного наследия (ОКН), мониторинг деятельности хозяйствующих субъектов в пределах ОКН и их охранных зон, проведение спасательных работ на объектах археологического наследия, а также выработка рекомендаций для разработки программ социального развития изучаемых территорий.

Особенно значимой для сохранения культурного достояния видится задача изучения исторической части поселений и придания им статуса ОКН. Успешная реализация этого направления деятельности возможна лишь при тесном взаимодействии гуманитарных и технических дисциплин (история, археология, антропология, геофизика, палеоэкология и т.д.). Помимо привлечения к работе проекта специалистов технического профиля, важным является сотрудничество с органами государственной власти, уполномоченными в области охраны культурного наследия.

Результаты работ будут использованы в разработке проектов законодательных актов, нормативных документов и инструкций по охране объектов культурного наследия УрФО. Участие в реализации проекта государственных и негосударственных учреждений различного уровня позволит консолидировать усилия различных структур в области охраны и использования историко-культурного наследия, сохранения этнического самосознания и культурной самобытности народов России.

Технологии выработки общественного согласия

Целью разработок является поиск эффективных инструментов гармонизации социальных и социокультурных взаимодействий в современном российском обществе. Стратификация современного российского общества испытывает многоаспектные *вызовы* со стороны различного рода неравенств (классовых, экономических, географических, конфессиональных, поколенческих и т.д.). Рост неравенства обостряет идеологические конфликты жизненных интересов различных социальных групп и страт российского общества, радикализирует протестные политические настроения.

В этой связи предполагается провести:

- сравнительное междисциплинарное исследование перспектив развития социального государства в России как гаранта устойчивого социально-политического и экономического порядка;
- анализ ценностных и институциональных механизмов общественного согласия в современном российском обществе в контексте противодействия идеологическому экстремизму;
- изучение мирового опыта и выработка актуальных стратегий и механизмов противодействия российской коррупции;
- электоральный, этноконфессиональный и иные направления мониторинга наиболее проблемных сфер общественной жизни;

Результаты изучения перспектив социального государства, противодействия экстремизму и коррупции, а также мониторинга общественно-политической активности в российских регионах могут быть использованы при выработке экспертных рекомендаций органам государственной власти и местного

самоуправления по достижению социального, национального и конфессионального гражданского согласия как основы стабильности и устойчивости российского общества.

Технологии юридических экспертиз и правового обеспечения

В российских регионах, России и мире постоянно возникают проблемные ситуации, вызовы, требующие научно-юридического реагирования, в том числе постоянного мониторинга, углубленного анализа, экспертной оценки, правового обеспечения. Предлагается как научно-юридический анализ и экспертная оценка проблемных ситуаций с точки зрения различных отраслей права – конституционного, гражданского, административного и других, так и применение правотворческих решений, включая разработку проектов законов, иных необходимых правовых актов с учетом судебной и иной юридической практики.

Ожидаемые результаты – научно-юридический продукт, направленный на разрешение юридических проблем, юридических аспектов социальных, политических и экономических проблем (как конкретных, так и типовых; как по заказам заинтересованных организаций, так и инициативных). Указанный продукт найдет отражение, в частности, в научных статьях, монографиях, рекомендациях, методиках, проектах законов, иных правовых актов, средствах судебной защиты.

В.А. Черешнев¹

Приоритеты медицинских исследований на Урале

В соответствии с научным обеспечением реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации состоялось заседание ОУС по медицинским наукам и выработаны предложения по приоритетам медицинских исследований на Урале.

Все предложенные проекты планируются, как междисциплинарные, и будут выполняться совместно учреждениями РАН, образовательными организациями и организациями здравоохранения. Учреждения РАН представлены следующими институтами: Институт иммунологии и физиологии Уро РАН, Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Институт физиологии природных адаптаций ФИЦ комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова РАН, Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, ФГБУН Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, ФИЦ Биотехнологии РАН, ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН», Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, НИЦ Медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Кольского научного центра РАН, Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, НЦ клинической и экспериментальной медицины СО РАМН, Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН.

¹ Научный руководитель института Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, академик РАН

Планируется участие 6 образовательных организаций: УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, УГМУ Минздрава России, ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Минздрава России, Тюменский ГМУ Минздрава России, ЮУГМУ Минздрава России, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова.

Кроме этого, в проектах планируется участие следующих организаций здравоохранения: НИИ ОММ г. Екатеринбург, ОКБ №1 г. Екатеринбурга, ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП, КДЦ «Охрана здоровья матери и ребенка», ГАУЗ СО "ОДКБ" г. Екатеринбург, ГБУЗ СО «Свердловский областной онкологический диспансер», ГБУЗ «ЧОКЦОиЯМ», ГАУЗ ТО «Медицинский город» г. Тюмень, ФГБУ «НМИЦ Радиологии» МЗ России, ГАУЗ СО «Институт медицинских клеточных технологий», ГБУЗ СО «Курганский областной онкологический диспансер», Окружной онкологический центр ХМАО-Югры.

Все рассмотренные проекты относятся к трем Стратегиям научно-технологического развития Российской Федерации, утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642. А именно, 1. переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных); 2. переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта; 3. обеспечение связанности территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.

К приоритету научно-технологического развития РФ «переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных)» относятся проекты:

1. Расшифровка механизмов иммунологической регуляции физиологических функций в норме, в условиях Арктического климата и при повреждении различных органов и тканей. Разработка и внедрение клеточных технологий и новых лекарственных препаратов для лечения социально значимых заболеваний. Координаторы: акад. Черешнев В.А., член-корр. Юшков Б.Г. Цель: исследовать механизмы регуляции иммунной системой физиологических функций организма в норме и их роль в развитии патологических процессов, разработать на их основе принципиально новые методы терапии социально значимых заболеваний.

2. Интеграция механизмов регуляции функции сердечно-сосудистой и скелетно-мышечной систем от молекул до организма в норме и при патологии. Координаторы: д.б.н. Бершицкий С.Ю., д.б.н. Проценко Ю.Л., д.ф.-м.н. Соловьева О.Э. Цель: исследовать механизмы регуляции функции сердечно-сосудистой и скелетно-мышечной систем от молекул до организма в норме и вследствие генетических, эпигенетических и пострнатсионных нарушений структуры и функции сердечной и скелетной мышц при патогенных, техногенных, социальных воздействиях на организм. Исследовать возможности корректировки патологических нарушений функции фармакологическими препаратами.

3. Прогнозирование и моделирование влияния факторов Севера на биологический возраст и способов его профилактики и коррекции. Координатор: член-корр. Москалев А.А. Цель: создать базу данных методов оценки скорости старения человека, разработать готовую к внедрению панель мультимодальных биомаркеров старения для определения биологического возраста человека, собрать и сопоставить в нескольких регионах обширный клинический материал на основе разработанной панели биомаркеров, методами машинного обучения на основе анализа больших данных создать мультимодальную компьютерную модель биологического возраста человека; выявить влияние факторов Севера и различных профилактических подходов на биологический возраст человека.

4. Разработка и создание новых биопрепаратов симбиотического ряда. Координаторы: акад. Бухарин О.В., д.м.н., профессор Перунова Н.Б. Цель: создание новых «биокомпозиций» синбиотической природы для расширения «линейки» профилактических и терапевтических средств.

5. Роль микробных метаболитов и медиаторов «quorum sensing» в формировании и функционировании векторов «доминант-ассоциант» и «микросимбиоз-хозяин» в условиях ассоциативного симбиоза. Координаторы: акад. Бухарин О.В., член-корр. Черкасов С.В. Цель: определение механизмов формирования персистирующей инфекции в условиях интеграции молекулярных систем «микробиота-хозяин» при ассоциативном симбиозе человека с целью создания новых мета- и синбиотиков.

6. Роль микробного фактора в регуляции гомеостаза и функционировании висцеральных систем организма человека. Координаторы: акад. Бухарин О.В., д.м.н., профессор Кузьмин М.Д. Цель: разработка новых подходов в диагностике и профилактике патологии человека, связанных с микробным фактором, а также создание новых терапевтических средств.

7. Радиомика и радиогеномика как важный компонент интеграции информации, полученной на основе изображений, при переходе к персонализированному лечению в онкологии. Координаторы: член-корр. Ковтун О.П., д.м.н., профессор Зырянов А.В., к.ф.м.н., доцент Васильев С.Н. Цель: создание платформы для высокопроизводительного анализа количественных функций и характеристик опухоли на основе данных медицинской визуализации и использование в системе поддержки правильного принятия клинических решений.

8. Создание модульной платформы для тераностики как новой стратегии в медицине. Координаторы: член-корр. Ковтун О.П., д.м.н., профессор Зырянов А.В. Цель: создание селективных и высокоэффективных соединений для тераностики и персонализированной медицины.

9. Биомедицинские аспекты создания и применения новых керамических и композитных материалов для задач тканевой инженерии, в том числе остеозамещающих материалов, и процессы биоинтеграции. Координаторы: член-корр. Кутепов С.М., к.м.н., доцент Гилёв М.В. Цель: достижение идеального биологического взаимодействия имплантированных биоматериалов с живыми тканями организма. В связи с этим, особую важность имеет разработка новых композиционных материалов на основе биокерамики, обеспечивающих оптимальные характеристики биоинтеграции с донорским интерфейсом. Решение перечисленных задач необходимо для создания целенаправленных подходов к модификации свойств имеющихся материалов и разработки новых керамических комплексов, а также технологий их формирования, для создания более эффективных биоинтеграционных комплексов нового поколения.

К приоритету научно-технологического развития РФ «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» относятся проекты:

1. Цифровые технологии поиска механизмов нарушения физиологических функций, персонифицированного лечения и поддержания здоровья человека. Координаторы: д.ф.-м.н. Кацнельсон Л.Б., д.ф.-м.н. Соловьева О.Э. Цель: внедрение цифровых методов анализа данных и персонифицированных компьютерных моделей физиологических систем человека, интегрирующих информацию от молекул до организма, для диагностики, лечения и прогноза состояния пациентов при социально значимых заболеваниях и для здоровьесбережения в условиях техногенной среды.

2. Информационные технологии в решении задач ранней диагностики больных онкологическими, сердечно-сосудистыми, гастроэнтерологическими и наследственно обусловленными заболеваниями. Координаторы: член-корр. Мишланов В.Ю., ак. Черешнев В.А.

К приоритету научно-технологического развития РФ «связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики» относится проект:

1. Разработка технологий, обеспечивающих сохранение здоровья у лиц, работающих в Арктике с использованием местных природных источников биологически активных веществ. Координатор: д.м.н., профессор Добродеева Л.К. Цель: разработка технологии получения из растительного сырья водорослевого и наземного происхождения антисептиков, сорбентов, стимуляторов, активаторов энергетического обмена и обоснования включения комплекса в систему профилактических мероприятий.

И.А. Шкуратова¹

Стратегия обеспечения продовольственной и биологической безопасности Уральского региона, снижение технологических рисков в АПК

Современный агропромышленный комплекс является фундаментом обеспечения продовольственной безопасности страны. В настоящее время эффективное развитие отечественного АПК является задачей стратегической важности, от решения которой зависит перспектива обеспечения продовольственной безопасности России. Это связано с тем, что в условиях геополитической турбулентности, разразившегося мирового финансово-экономического кризиса, связанного с падением мировых цен на нефть, экономических санкций именно от уровня конкурентоспособности

¹ Директор Уральского аграрного научно-исследовательского центра УрО РАН, доктор ветеринарных наук

отечественного аграрного сектора экономики зависит благополучие граждан России, социальная и экономическая стабильность в стране. Национальная продовольственная безопасность занимает важное место в жизнеобеспечении населения страны, так как наличие доступного продовольствия является базовым условием жизнедеятельности человека. Продукты питания необходимы ежедневно каждому жителю планеты, а уровень и экологическая безопасность питания определяют здоровье нации и продолжительность жизни людей.

Особая значимость устойчивого развития национального АПК определяется необходимостью в короткие сроки обеспечить прорыв в производстве отечественного сельскохозяйственного сырья и продовольствия, преодолеть негативные тенденции и создать комплекс условий для эффективной реализации политики импортозамещения.

Специфика функционирования отечественного АПК связана с его относительно низкой инвестиционной привлекательностью, обусловленной высокими производственно-финансовыми рисками и недостаточным уровнем финансовой обеспеченности отечественных товаропроизводителей. Недостаточно эффективный механизм оказания бюджетной поддержки российским аграриям, высокие процентные ставки по кредитам, большая доля устаревшей техники не дают большинству сельскохозяйственных организаций производить конкурентоспособную продукцию, лишают возможности осваивать и распространять инновации.

В этой связи важно активизировать разработки по научному обеспечению мероприятий, связанных с обеспечением продовольственной безопасности в условиях финансово-экономических вызовов мировой экономики.

Продовольственная безопасность РФ является одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности страны. Стратегическая цель продовольственной безопасности – обеспечение населения безопасной сельскохозяйственной продукцией и продовольствием. Гарантией ее достижения является стабильность внутреннего производства, а также наличие необходимых резервов и запасов.

Основными задачами обеспечения продовольственной безопасности являются:

- своевременное прогнозирование, выявление и предотвращение внутренних и внешних угроз продовольственной безопасности, минимизация их негативных последствий за счет постоянной готовности системы обеспечения граждан пищевыми продуктами, формирования стратегических запасов пищевых продуктов;
- устойчивое развитие отечественного производства продовольствия и сырья, достаточное для обеспечения продовольственной независимости страны;
- обеспечение безопасности пищевых продуктов.

В соответствии с «Доктриной продовольственной безопасности РФ», Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации и указом Президента Российской Федерации № 350 от 21.07. 2016 г. «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» основными целями государственной аграрной политики в долгосрочной перспективе являются: обеспечение потребности населения сельскохозяйственной продукцией и продовольствием российского производства; повышение конкурентоспособности российского аграрного комплекса; эффективное импортозамещение на рынке и создание развитого экспортного потенциала; разработка и реализация комплекса мер, направленных на создание и внедрение до 2026 года конкурентоспособных отечественных технологий, основанных на новейших достижениях науки.

Интенсивный рост спроса на продовольствие, увеличение потребления животноводческой продукции способствует росту долгосрочных рисков

нестабильности на мировых агропродовольственных рынках. По оценкам ФАО и ОЭСР, в результате роста численности населения и душевых доходов к 2050 г. глобальное производство продукции АПК должно вырасти на 60-70% по сравнению с 2000-ми гг., что будет означать необходимость производства дополнительных 940 млн т зерновых и 200–300 млн т мяса в год. Поскольку основным источником корма для выращивания мясного и отчасти молочного скота является зерно, потенциально годное в пищу, большее потребление мяса означает увеличение нагрузки на экосистемы и меньшую доступность простых продуктов питания для широких слоев населения. Растущая концентрация населения в крупных городах ведет к обострению проблемы бесперебойного снабжения урбанизированных зон продуктами питания. По данным ООН, в период с 1950 по 2014 гг. доля городского населения в мире выросла с 30 до 54% и к 2050 г. достигнет 66%. Проблема гарантированного бесперебойного снабжения крупных урбанизированных зон продуктами питания может быть решена за счет развития инфраструктуры урбанизированного сельского хозяйства.

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УРО РАН, объединивший пять научно-исследовательских организаций аграрного профиля, основной задачей аграрной науки считает создание фундаментальных основ и технологий в растениеводстве и животноводстве для обеспечения населения высококачественными продуктами питания за счет возобновляемых природных ресурсов и технологий жизнеобеспечения, защиты здоровья человека и животных, развитие агропромышленного комплекса и перерабатывающей промышленности на основе успешного внедрения научных разработок и новых технологий для обеспечения продовольственной безопасности Уральского региона.

Продовольственная безопасность отдельных Федеральных округов и страны в целом невозможна без развитых и эффективно работающих основных отраслей сельского хозяйства – растениеводства и животноводства.

В интенсификации современного растениеводства центральное место принадлежит селекции, созданию и использованию новых сортов различного целевого назначения. Сорт – наиболее эффективное и доступное средство повышения урожайности и качества продукции, обеспечения стабильных урожаев при изменяющихся экологических условиях. Вклад селекции в повышение урожайности за последние десятилетия оценивается в 50%, а с учетом изменяющегося климата роль её будет возрастать. Требования сельскохозяйственного производства к создаваемым сортам постоянно растут и на ближайшую перспективу включают не только высокую и стабильную продуктивность, но и отличные товарные характеристики, питательную ценность, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды, наиболее вредоносным болезням и вредителям, адаптацию к почвенно-климатическим условиям возделывания, пригодность к длительному хранению и промышленной переработке.

В последние десятилетия снизились объемы семеноводства отечественных сортов, обладающих более высокими качественными показателями и устойчивостью к болезням и увеличились бесконтрольные поставки семян высоких репродукций из-за рубежа, что уже привело к широкому распространению новых болезней (серебристая парша картофеля, кольцевая и водянистая гниль, новые расы головни и ржавчины на зерновых культурах и т.д.) в семеноводческих предприятиях и по всей территории страны.

Доля используемых в России зарубежных семян достигает 75%. Посевной материал многих агрокультур преимущественно закупают за границей: до 50-70% масличных и технических агрокультур и до 40-50% картофеля, овощей и зелени,

семена сахарной свеклы – 75%. По оценке Минсельхоза, российский рынок семян превысил 50 млрд руб. Половина этого объема – импорт.

Селекция и семеноводство являются важнейшим направлением в сельском хозяйстве. Именно сорт решает успех дела: от правильности его выбора зависит и количество урожая, и его качество. Долгое время зарубежные компании – производители семян – завоевывали рынок России, когда в России селекционные программы временно были свернуты. Это привело к утрате коллекций растений, селекционных семян, участков и лабораторий, прочно установилась зависимость от иностранного посадочного и селекционного материала, что представляет угрозу для продовольственной безопасности России до сих пор. Поэтому импортозамещение, в первую очередь, направлено сегодня на развитие семенного сектора российского АПК. Стратегия развития селекции и семеноводства в России на период до 2025 года направлена на обеспечение стабильного роста сельскохозяйственной продукции, полученной за счет применения семян новых отечественных сортов. Она предусматривает производство оригинальных и элитных семян наиболее импортозависимых культур: сахарной свеклы, подсолнечника, кукурузы, картофеля и других. В 2017 году было закуплено семян на 238 млрд рублей. Доля отечественной селекции составляет 71,7 %, в том числе по кукурузе – 35 %, подсолнечнику – 32 %, сахарной свекле – 19 %, картофелю – 52 %, овощам – 74 %. Поддержка селекции и семеноводства включена в госпрограмму развития АПК. До 2020-го в стране предполагается построить 148 селекционно-семеноводческих центров. Это должно способствовать повышению урожайности основных агрокультур на 30-40% и уменьшить долю импорта.

Растениеводство в Уральском регионе представлено в основном выращиванием зерновых и картофеля. Помимо этого, некоторые сельскохозяйственные предприятия региона занимаются выращиванием зернобобовых культур и овощей в открытом и защищенном грунте. Из зерновых в Свердловской области больше всего выращивают ячменя и пшеницы, которые занимают 15-16 % посевных площадей, овес – 6 %. Также в области выращиваются рожь, тиртикале, просо, гречиху. На долю рапса приходится 2,5 % посевных площадей, а картофеля – 2 %. Из зернобобовых культур в регионе выращивают в основном только горох. Селекционный центр Уральского НИИСХ является лидером УрФО и одним из лидеров в России по эффективности селекционной работы. Результаты фундаментальных исследований по генетике и селекции растений имеют непосредственный и постоянный выход в производство. В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию по РФ, содержится 75 сортов селекции Уральского НИИСХ, том числе 16 сортов включены за последние три года. В институте в настоящее время поддерживается 52 патента на сорта сельскохозяйственных культур.

Картофель – традиционная для России культура. Мы занимаем третье место в мире, уступая лидерство лишь Китаю и Индии. Среднегодовое производство «второго хлеба» составляет более 29,8 млн тонн, что позволяет полностью обеспечивать внутренний рынок. Однако больше половины засеваемого в России картофеля – продукт иностранной селекции. В основном семенной материал закупают в Германии, Нидерландах, Финляндии, Польше, хотя у нас имеются институты, которые специально занимаются селекцией картофеля.

В УРФАНИЦ УРО РАН селекцией картофеля много лет успешно занимаются филиалы – Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, учеными которого выведено 17 районированных сортов картофеля и 4 новых сорта передано на государственное сортоиспытание и Южно-Уральский институт картофелеводства и садоводства. В Белоярском районе Свердловской области создан

селекционно-семеноводческий центр «Уральский картофель». Компания будет вести семеноводство 15-20 сортов картофеля, из которых не менее 60% - сорта селекции Уральского научно-исследовательского института сельского хозяйства. При выходе на полную мощность предприятие будет производить десять тысяч тонн элитных семян картофеля в год, что обеспечит потребности УРФО и других регионов России.

Проект постановления правительства об утверждении подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» подразумевает выведение перспективных отечественных сортов картофеля и обеспечение овощеводческих предприятий новым оборудованием для этих целей. Новая подпрограмма станет частью Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства до 2025 года. Учеными должно быть проведено не менее 150 испытаний новых видов и гибридов картофеля в пяти различных природно-климатических зонах России. Цель - выявление перспективных отечественных сортов, наиболее востребованных для последующего внедрения в производство. Среди ожидаемых результатов - снижение уровня зависимости отрасли, выведение новых технологий селекции и производства семян картофеля, создание не менее 17 новых научных подразделений в этой сфере.

Программой предусмотрено также увеличение количества диагностикумов по выявлению возбудителей заболеваний и вредителей картофеля, увеличение годового объема посадочного материала, доли отечественных средств защиты этой культуры. Переход на отечественные клубни обойдется стране в 12,2 млрд рублей.

Существенную роль в обеспечении продовольственной безопасности Уральского региона способно внести развитое садоводство. Структурное подразделение УРФАНИЦ – Свердловская селекционная станция садоводства имеет ценный селекционный материал с высоким уровнем хозяйственно-биологических признаков, громадный агротехнический опыт выращивания плодовых и ягодных культур. Это крепкая научная база для увеличения площадей под садами, повышения урожайности плодовых и ягодных культур, удовлетворения запросов торговли и перерабатывающих предприятий в высококачественной плодово-ягодной продукции Уральского региона и в ближайшем будущем, и на перспективу, обеспечения населения Урала экологически чистой, высоковитаминной продукцией. В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ, находится 61 сорт селекции Свердловской ССС. В Южно-Уральском научно-исследовательском институте садоводства и картофелеводства проводится работа по созданию новых сортов плодовых культур, сочетающих высокую зимостойкость, продуктивность, устойчивость к болезням и вредителям (например, устойчивые к коккомикозу сорта вишни).

В сложившихся социально-экономических условиях особое значение в повышении эффективности растениеводства приобретает применение современных высокоинтенсивных агротехнологий на основе принципов влаго- и ресурсосбережения, дифференциации, точности использования и контроля расхода ресурсов на каждом поле и даже его части. Интенсификация современного сельскохозяйственного производства реализуется внедрением точного земледелия, при котором управление агротехнологическими операциями осуществляется с максимальным учётом variability почвенного покрова, состояния посевов и степени поражения их вредителями, засорённости и т.п. Существующее ресурсное обеспечение подавляющего большинства сельхозпредприятий и научных организаций Уральского федерального округа пока не позволяет внедрить точное земледелие. Промежуточным этапом к точному является адаптивно-ландшафтное земледелие, которое дифференцирует технологии по полям в зависимости от характеристик и

истории использования поля. Разработка эффективной системы агротехнологий возможна только на основе многолетних системных исследований, имеющих фундаментальное значение, т.к. в разрозненных исследованиях, где преобладает изучение и совершенствование отдельных элементов системы земледелия без должной увязки с другими системообразующими факторами, не удастся эффективно управлять системой земледелия в условиях производства. Изменение экономических, социальных, технических условий производства требует совершенствования и технологической составляющей производства. Только комплексное научно-обоснованное развитие агропромышленного комплекса гарантирует выполнение основных целей государственной аграрной политики государства.

Для удовлетворения глобальных вызовов в сфере продовольственной и биологической безопасности человечеству необходимо земледелие нового типа, в большой степени основанное на цифровых технологиях, на применении автоматизированных систем принятия решений, комплексной автоматизации и роботизации производства, а также технологиях проектирования и моделирования экосистем. К основным факторам повышения эффективности земледелия за счет цифровизации относятся:

- минимизация использования ресурсов (топлива, удобрений и агрохимикатов) при максимальном задействовании локальных факторов производства;
- экологически безопасные системы защиты и питания растений;
- восстановление и сохранение почвенного плодородия;
- дистанционный интегрированный контроль систем земледелия;
- повышение оперативности и обоснованности принятия решений по проведению агроприемов;
- повышение эффективности агроменеджмента в целом и престижа сельскохозяйственных профессий современного уровня.

В России внедрение цифровизации в производство отстает от ведущих (по этому направлению) стран мира. Из-за финансового и кадрового дефицита в большей части сельхозпредприятий для управления растениеводством не используются почвенные и агрохимические показатели полей, сельскохозяйственные агрегаты не оборудованы датчиками по контролю технологий, не используются беспилотные летательные аппараты и космоснимки, не ведется картирование урожайности. Для автоматизации оперативного управления растениеводством пока не созданы системы для объединения и анализа данных из различных источников (баз научных знаний, электронных карт полей, данных с датчиков сельхозагрегатов и т.д.).

Разработка системы цифрового управления растениеводством является в настоящее время одним из важнейших направлений научных исследований Курганского НИИСХ – филиала УрФАНИЦ УрО РАН, где эта работа ведется уже более 10 лет. Разработанная в Курганском НИИСХ система управления растениеводством на основе цифровых технологий представляет собой информационно-аналитический комплекс системы земледелия, состоящий из четырех блоков:

- 1 - база знаний (нормы, нормативы, данные научных организаций и алгоритмы принятия решений);
- 2 - проектирование технологий выращивания сельхозкультур на основе типовых технологических карт и базы знаний;
- 3 - мониторинг (контроль технологий и учет использования ресурсов);
- 4 - анализ данных электронной карты и книги истории полей.

Учеными Курганского НИИСХ разработаны и зарегистрированы в ФИПС базы данных технологических и экономических параметров и типовых технологий по

выращиванию сельскохозяйственных культур, компьютерные программы по созданию электронных карт полей, мониторингу и проектированию технологий. Программное обеспечение института ориентированное на использование отечественного оборудования и зональной системы земледелия, значительно дешевле иностранного и уже внедрено в ряде крупных сельскохозяйственных предприятиях общей площадью 90 тыс. га. Адаптация программ происходит и на производственных полях Курганского НИИСХ.

В настоящее время рост животноводческой продукции происходит на фоне лимитирующих и негативных факторов – ограниченность мировых земельных ресурсов, ухудшающаяся экологическая обстановка, нерациональное использование сельскохозяйственных угодий. Молочное скотоводство является основной отраслью животноводства не только в Уральском Федеральном округе, но и целом в России, поскольку молоко является незаменимым продуктом питания человека. Однако, по ряду объективных причин, потребление молока и молочных продуктов на душу населения Свердловской области снизилось до 186,7 кг, что составляет 48,2 % по отношению к уровню 1990 года и 45,7 % – к рациональной норме (данные обл. ЦГСЭН). В настоящее время молоком собственного производства Средний Урал обеспечен менее чем на 50 %, остальное количество приходится ввозить из других регионов. Безусловно, это отрицательно сказывается на цене и качестве реализуемой продукции. Качество молока снижается, в частности, из-за необходимости использования консервантов при его транспортировке на дальние расстояния.

2017 году во всех хозяйствах Свердловской области было произведено 710 тысяч тонн молока, в 2016 году – 675 тысяч тонн. Средний удой по области составил 6850 килограммов молока, при этом отмечается повышение его качественных показателей. Доля молока высшего сорта увеличилась с 60 до 62 процентов, а содержание белка в молоке – с 3,08 до 3,12 процента. В трех сельскохозяйственных организациях достигнут рекорд по продуктивности: от каждой коровы получено более 10 тысяч тонн молока. По данным министерства сельского хозяйства РФ, Свердловская область в числе шести регионов России, которые обеспечили наибольший прирост производства молока за год.

В программе долгосрочного развития РФ предусматривается обеспечение потребности населения сельскохозяйственной продукцией собственного производства и проведение импортозамещения. Для достижения рационального уровня в потреблении молока и молочных продуктов, что является одним из ключевых моментов Концепции продовольственной безопасности, необходимо совершенствовать продуктивные качества крупного рогатого скота молочных пород. Филиал УРФАНИЦ – Уральский НИИСХ успешно занимается совершенствованием черно-пестрой породы крупного рогатого скота, и координацией селекционно-племенной работы в регионе Урала. Одним из широко востребованных направлений исследований института является генотипирование крупного рогатого скота, позволяющее проводить анализ родства и выделять животных с желательными хозяйственными признаками, создавать новые генотипы животных с хозяйственно-ценными признаками, устойчивых к экономически значимым болезням животных (инфекционные болезни, маститы и т.д.) и неблагоприятным условиям среды.

Ключевым понятием в животноводстве становится ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ продукции. Меняются требования и к главному звену производственных систем животноводства – самим животным. Они должны обладать следующими свойствами:

- крепким здоровьем и развитой иммунной системой, хорошей адаптацией к современным технологиям производства;

- высокими воспроизводительными качествами и длительным сроком продуктивного использования;

- эффективной конверсией питательных веществ и энергии кормов.

Важнейшее значение имеет обеспечение биологической безопасности, представляющей собой систему защиты животных и продукции от заражения. Эта система основана на проведении превентивных мер, направленных против внешних неблагоприятных факторов. В сочетании с надлежащей организацией работы и мерами контроля она полностью предотвращает или уменьшает опасность передачи инфекционных заболеваний от животных человеку через молоко или получаемые из него продукты.

С точки зрения обеспечения биологической безопасности УрФО важное место занимает ветеринарная медицина, основной задачей которой является профилактика и предотвращение чрезвычайных ситуаций в области животноводства, птицеводства и аквакультуры, в том числе контроль качества животноводческой продукции. Немаловажную роль имеет развитие фармацевтических исследований в области ветеринарии. Обеспеченность ветеринарии и животноводства лекарственными и биологически активными средствами российского производства составляет до 15% от необходимого объема и постоянно снижается с начала 90-х годов прошлого века. Россия подвергается интенсивной зарубежной экспансии на рынке ветеринарной химико-фармацевтической продукции. Принятие «Стратегии развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2020 года», федерального закона «Об обращении лекарственных средств», направлены на смену депрессивного сценария и переход на инновационную модель развития фармацевтической промышленности Российской Федерации и ветеринарной фармации в частности.

Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт является специализированным подразделением по изучению проблем ветеринарной медицины в Уральском регионе и Российской Федерации в целом. Учеными организации получены уникальные для РФ результаты в области молекулярно-генетических исследований возбудителей вирусных инфекций животных, в частности вируса лейкоза крупного рогатого скота. Разработаны комплексные системы мероприятий, обеспечивающие ветеринарное благополучие по лейкозу, бактериальным и острым респираторным вирусным инфекциям крупного рогатого скота, востребованность которых подтверждена государственными контрактами, реализуемыми в Свердловской, Тюменской и Курганской областях. Разработаны методы ранней диагностики нарушений обменных процессов и иммунодефицитных состояний сельскохозяйственных животных в условиях экологического неблагополучия региона, технология ранней диагностики беременности, эмбриональной смертности и патологии репродуктивной системы, методы биотехнологического контроля за воспроизводительной функцией продуктивных животных. Совместно с ФГБНУ ИОС УрО РАН проводится разработка и клинические испытания новых высокоэффективных лекарственных средств ветеринарного назначения на кремнийорганической основе, не имеющих аналогов в России и за рубежом и являющихся альтернативой антибиотикам. Данное направление соответствует «Стратегии предупреждения распространения антимикробной резистентности в Российской Федерации на период до 2030 года».

Консолидация на ключевых задачах с определением центров координации и ответственности за результат, позволят обеспечить создание научных результатов, обеспечивающих интенсивное развитие агропромышленного комплекса Уральского региона.