



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ НАУЧНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Материалы научной сессии
общего собрания членов Российской академии наук
12-13 декабря 2023 года

МОСКВА 2024

Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации: Материалы научной сессии общего собрания членов Российской академии наук 12–13 декабря 2023 года / Гл. ред. Г.Я. Красников. – М.: РАН, 2024. – 448 с.

Настоящий сборник материалов подготовлен в соответствии с распоряжением Российской академии наук от 13 мая 2024 г. № 10106-570. Сборник включает в себя материалы выступлений на общем собрании членов Российской академии наук, состоявшемся 12–13 декабря 2023 года, а также материалы собраний отделений РАН по областям и направлениям науки и региональных отделений РАН.

Редакционная коллегия:

Красников Г.Я. – академик РАН, президент РАН, главный редактор
Панченко В.Я. – академик РАН, вице-президент РАН, заместитель главного редактора
Иванов В.В. – член-корреспондент РАН, заместитель президента РАН, заместитель главного редактора
Алдошин С.М. – академик РАН, вице-президент РАН, ответственный секретарь

Члены редакционной коллегии:

Голубев Е.Б. – начальник Управления научно-информационной деятельности РАН и взаимодействия с научно-образовательным сообществом
Долгушкин Н.К. – академик РАН, вице-президент РАН
Калмыков С.Н. – академик РАН, вице-президент РАН
Кульчин Ю.Н. – академик РАН, вице-президент РАН
Макаров Н.А. – академик РАН, вице-президент РАН
Пармон В.Н. – академик РАН, вице-президент РАН
Пирадов М.А. – академик РАН, вице-президент РАН
Руденко В.Н. – академик РАН, вице-президент РАН
Чернышев С.Л. – академик РАН, вице-президент РАН

Составители:

Информационно-аналитический центр «Наука» РАН:
к.т.н. Арменский А.Е., д.э.н. Королева Е.В., к.ф.н. Малахова Е.В., Маринина Р.А.

Организационно-техническое обеспечение:

Джалюкова А.Д., Ковалева А.А., Павлова О.В., Черных О.И.

При подготовке данного сборника были использованы материалы, опубликованные в журнале «Вестник РАН» № 3, 2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК	9
Доклад президента РАН академика РАН Г.Я. Красникова о деятельности Российской академии наук в 2023 году.....	15
Доклад академика РАН В.А. Садовниченко «Российские университеты как ключевой элемент подготовки кадров для обеспечения технологического суверенитета страны».....	19
Доклад академика РАН А.И. Аветисяна «Доверенный искусственный интеллект».....	30
Доклад академика РАН Н.А. Тестоедова «Российская навигационная спутниковая система и её перспективы».....	43
Доклад академика РАН С.М. Алдошина «Критические технологии освоения минерально-сырьевой базы Российской Федерации – от прогноза и добычи руд к извлечению металлов и созданию высокотехнологичной продукции».....	53
Доклад члена-корреспондента РАН А.В. Макарова, академика РАН А.А. Иноземцева, академика РАН В.Г. Дегтяря, доктора технических наук Е.В. Харанжевского, генерального директора АО «НПП "МАШПРОМ"» А.Б. Котельникова, кандидата технических наук А.А. Вопнерука «Обеспечение технологического суверенитета России в металлургии и машиностроении».....	72
Доклад академика РАН В.А. Семенова «Изменения климата: причины, последствия, актуальные задачи».....	90
Доклад академика РАН Б.Н. Порфирьева, члена-корреспондента РАН А.А. Широва «Структурно-технологические сдвиги и модернизация экономики России (средне- и долгосрочные перспективы)».....	103
Доклад академика РАН А.А. Дынкина «Трансформация мирового порядка: экономика, идеология, технологии».....	118
Доклад академика РАН Я.П. Лобачевского «Научное обеспечение приоритетных технологий агропромышленного комплекса Российской Федерации».....	133
Доклад академика РАН А.Д. Каприна «Онкология как перспективное направление в отечественных исследованиях и прикладных методах лечения неинфекционных заболеваний».....	144

Доклад академика РАН В.Г. Акимкина, академика РАН В.В. Зверева, академика РАН М.П. Кирпичникова, академика РАН Е.Д. Свердлова, академика РАН В.И. Стародубова, академика РАН Н.К. Янковского «Эпидемиологические, клеточные, генетические и эпигенетические аспекты биобезопасности».....	149
Доклад члена-корреспондента РАН В.И. Скворцовой, члена-корреспондента РАН В.В. Белоусова «Биомедицинские нейротехнологии: от изучения живых систем к коррекции патологии нервной системы»	165
Материалы научных сессий отделений РАН «Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации».....	173
ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК РАН.....	174
Академик РАН А. Г. Аганбегян «Технологический суверенитет России. О переходе к ускоренному научно-технологическому развитию при подъеме экономической эффективности».....	174
Академик РАН С.Ю. Глазьев «Как совершить рывок в развитии экономики».....	176
Член-корреспондент РАН В.В. Иванов «Об основных направлениях государственной политики обеспечения технологического суверенитета».....	179
Академик РАН В.В. Окрепилов «Качество как фактор обеспечения научно-технологического суверенитета».....	183
Член-корреспондент РАН А.Р. Бахтизин «Агент-ориентированное моделирование для задач государственного управления».....	187
Член-корреспондент РАН А.А. Широков «Рынок труда в условиях структурно-технологической перестройки Российской экономики».....	193
Член-корреспондент РАН В.В. Локосов «Научно-технологический суверенитет в человеческом измерении».....	197
Член-корреспондент РАН Г.Б. Клейнер «Генерация инноваций в условиях ограничений».....	199
Доктор экономических НАУК Е.Б. Ленчук «Новые контуры научно-технологической политики России в условиях обеспечения технологического суверенитета».....	203
Профессор РАН С.А. Сеницын «Технологический суверенитет в фокусе права».....	207

ОТДЕЛЕНИЕ ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН	208
Доктор исторических наук Е. Ю. Басаргина «Столетний юбилей академии наук в 1826 г.».....	208
Член-корреспондент РАН Ю.М. Батурин «Искания Российских ученых природного континуума физического и духовного миров».....	213
Член-корреспондент РАН И.В. Побережников, доктор исторических наук Е.Т. Артемов «Наука, технологии, производство в советской модели позднеиндустриальной модернизации».....	218
Член-корреспондент РАН И.Ф. Попова «Российское востоковедение. Государственная миссия».....	222
Доктор исторических НАУК В.М. Рынков «Новосибирский академгородок: технология «БРОСКА» советской науки на восток»	228
Член-корреспондент РАН И.В. Тункина «Основные вехи истории Академии наук в Санкт-Петербурге-Петрограде-Ленинграде (1724–1934)».....	232
Доктор исторических наук Р.А. Фандо «Открытия Российской академии наук на интернет-портале “300 лет служения человечеству”»	237
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН.....	241
Член-корреспондент РАН Г.К. Коротаев, член-корреспондент РАН Р.А. Ибраев «Развитие отечественных систем оперативного освещения состояния морской среды для обеспечения технологического суверенитета и безопасности страны».....	241
Член-корреспондент РАН В.И. Богоявленский «Перспективы и проблемы изучения и освоения ресурсов углеводородов континентального шельфа северного ледовитого океана».....	245
Член-корреспондент РАН С.К. Коновалов «Биогеохимия морской среды: современный уровень представлений и методов исследования»	252
Профессор РАН М.А. Носов, доктор физико-математических наук В.К. Гусяков, кандидат физико-математических наук Т.Н. Ивельская, кандидат физико-математических наук Д.В. Чебров «Волны цунами и проблема безопасности побережий России».....	256
член-корреспондент РАН А.А. Родионов «Модели гидромеханики морской среды и решение актуальных задач ВМФ. Вехи взаимодействия Российской академии наук».....	259

Доктор геолого-минералогических наук С.Г. Сколотнев, С.В. Бельчиков, А.В. Корнийчук, академик РАН М.А. Федонкин «Результаты геологического изучения поднятия Альфа-Менделеева с научно-исследовательской подводной лодки: ключевое значение для одобрения комиссией ООН заявки Российской Федерации на расширение ВГКШ в Северном Ледовитом океане».....	265
Доктор геолого-минералогических наук Р.Б. Шакиров, кандидат геолого-минералогических наук В. Т. Съедин, доктор геолого-минералогических наук А.И. Гресов, кандидат геолого-минералогических наук В.В. Саттарова, кандидат геолого-минералогических наук Н.В. Астахова, кандидат геолого-минералогических наук О.Н. Колесник, кандидат геолого-минералогических наук М.Г. Валитов, Н.С. Ли, М.В. Шакирова, доктор геолого-минералогических наук С.П. Плетнев «Комплексные экспедиционные исследования ТОИ ДВО РАН в контексте перспектив изучения минерально-сырьевой базы и окружающей среды».....	269
ОТДЕЛЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ НАУК РАН.....	272
Академик РАН В.А. Тутельян «Создание технологий получения и системы оценки качества и безопасности жизненно важных пищевых ингредиентов (витаминов, аминокислот, биологически активных веществ и др.) для обеспечения отечественного производства специализированной пищевой продукции».....	272
Член-корреспондент РАН А.С. Симбирцев «Инновационные подходы к созданию медицинских биотехнологических препаратов».....	276
Академик РАН А.Ш. Ревешвили, академик РАН Б.Г. Алекия «Инновационные технологии в лечении ранее неоперабельных коморбидных пациентов пожилого возраста».....	280
Академик РАН А.Г. Чучалин, член-корреспондент РАН В.Д. Селемир, доктор биологических наук А.Ф. Ванин «Оксид азота – молекула XXI века».....	284
Академик РАН Г.В. Трубников, члены секции клинической медицины ОМЕДН РАН «Протонный ускоритель России».....	288
Член-корреспондент РАН С.В. Виссарионов «Концепция практической реализации научных разработок в детской травматологии и ортопедии в Российской Федерации и странах СНГ».....	292
Академик РАН В.Г. Акимкин «Современные молекулярно-биологические методы диагностики возбудителей инфекционных болезней: от научной идеи до массового промышленного производства. Настоящее и будущее».....	296

ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН.....	304
Академик РАН А.В. Адрианов «Биоресурсы мирового океана для отечественной экономики».....	304
Академик РАН С.Н. Кочетков «Резистентность микроорганизмов к лекарственным препаратам: механизмы возникновения и пути преодоления».....	308
Член-корреспондент РАН П.М. Чумаков «Онколитические вирусы».....	311
Доктор биологических наук А.С. Яненко «Генетические технологии для развития микробиологической промышленности».....	315
Член-корреспондент РАН Н.В. Лукина «Научные подходы к организации национальной системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России».....	319
ОТДЕЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК РАН.....	322
Академик РАН А.С. Дорохов «Перспективы научно-технологического развития искусственного интеллекта и роботизации в сельскохозяйственном производстве».....	322
Академик РАН Я.П. Лобачевский «Приоритетные технологии развития агропромышленного комплекса Российской Федерации».....	326
Академик РАН А.И. Алтухов «Состояние и возможности развития агропромышленного комплекса страны».....	331
Академик РАН В.А. Шевченко «Научное обоснование мелиорации для устойчивого развития сельского хозяйства России».....	337
Академик РАН А.А. Завалин «Проблемы и пути решения технологического развития земледелия».....	342
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН.....	345
Член-корреспондент РАН А.С. Носков, академик РАН В.И. Бухтияров «Об обеспечении технологического суверенитета химического комплекса России в области катализаторов: состояние и перспективы»	345
Академик РАН Н.П. Похиленко «Редкие и редкоземельные металлы как основа технологической безопасности».....	347
Академик РАН С.В. Попов «Критические технологии для медицины в условиях глобальных вызовов».....	350
Член-корреспондент РАН А.П. Немудрый «Технологии извлечения лития из отечественного горнорудного и гидроминерального литиевого сырья».....	357

Академик РАН О.Л. Барбараш, кандидат технических наук Е.А. Овчаренко, кандидат медицинских наук К.Ю. Клышников, доктор биологических наук Ю.А. Кудрявцева, академик РАН Л.С. Барбараш «Биопротезы клапанов сердца. основные результаты фундаментальных и прикладных исследований».....	360
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН.....	366
Член-корреспондент РАН Н.Н. Зезин «Научное обеспечение агропромышленного комплекса Уральского региона».....	366
Академик РАН Н.В. Мушников «Разработки в области физико-технических наук, направленные на достижение технологического суверенитета Российской Федерации».....	370
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ РАН.....	374
Член-корреспондент РАН Н.Э. Нифантьев «Диагностикумы и вакцины на основе синтетических олигосахаридов для обнаружения и предотвращения грибковых и бактериальных инфекций, вызванных патогенами, резистентными к действию лекарств».....	374
Член-корреспондент РАН Н.Ф. Салахутдинов «Природные соединения в создании новых препаратов в медицине и сельском хозяйстве».....	376
Доктор химических наук Н. А. Санина «Экзогенные доноры оксида азота (NO) в химиотерапии глиом: достижения и перспективы».....	377
Член-корреспондент РАН В.С. Комлев «Биосовместимые материалы для регенеративной медицины и тканевой инженерии».....	378
Член-корреспондент РАН С.Н. Чвалун «Полимеры и композиционные материалы: от мономеров до медицинских изделий и средств доставки»	379
Член-корреспондент РАН Е.А. Гудилин «Материалы для ГКР спектроскопии: получение, свойства и применения».....	380
Член-корреспондент РАН В.К. Иванов «275 лет химической науке в России».....	381
ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН от 13.12.2023 № 53.....	382

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

12 и 13 декабря 2023 г. в Москве в Большом зале РАН состоялась Научная сессия общего собрания членов Российской академии наук. В ней приняли участие помощник Президента Российской Федерации А.А. Фурсенко, министр науки и высшего образования Российской Федерации В.Н. Фальков, министр здравоохранения Российской Федерации М.А. Мурашко, министр сельского хозяйства Российской Федерации Д.Н. Патрушев, министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации И.Э. Файзуллин, руководитель Федерального медико-биологического агентства В.И. Скворцова, председатель Комитета по науке, образованию и культуре Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации Л.С. Гумерова, председатель Комитета по науке и высшему образованию Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации С.В. Кабышев, генеральный директор ГК «Роскосмос» Ю.И. Борисов, президент Российской академии художеств З.К. Церетели. Официальные лица обратились к участникам собрания с приветствиями.

Помощник Президента Российской Федерации **А.А. Фурсенко** напомнил о важном предстоящем событии – 300-летию Академии наук. По его словам, в стране найдётся немного институтов, которые имели бы столь узнаваемое название и за которыми числилось бы так много достижений. Академия всегда откликалась, когда страна сталкивалась с серьёзными вызовами. Именно такая ситуация сложилась сейчас, и слово "наука" стало ассоциироваться с развитием государства и общества. А.А. Фурсенко выразил уверенность в том, что Академия наук сможет предложить руководству страны верные подходы к решению острых проблем современности.

На необходимость обеспечения подлинного технологического суверенитета страны обратил внимание министр науки и высшего образования Российской Федерации **В.Н. Фальков**. В 2023 г. реализован целый ряд проектов, нацеленных на решение этой задачи, в том числе по развитию инженерного образования. Подведены итоги второго тура отбора передовых инженерных школ, в основу которого легли экспертизы членов Российской академии наук. Ставится задача повышения качества школьного образования по физике, математике, химии и биологии.

Важная работа – совершенствование подходов к оценке результатов научных исследований и к категорированию организаций. Эта система должна быть направлена на формирование конкурентной среды в сфере исследований и разработок, обеспечивать институтам возможность активно двигаться вперёд.

Говоря о результатах двух лет Десятилетия науки и технологий, В.Н. Фальков подчеркнул, что в реализации инициатив, проектов и мероприятий десятилетия

принимают участие все субъекты Российской Федерации, в 79 из них приняты соответствующие региональные планы, а треть субъектов подготовила региональные программы научно-технологического развития. Увеличился и охват участников: в федеральных и региональных мероприятиях плана Десятилетия науки и технологий приняли участие более 30 млн человек.

По мнению министра здравоохранения Российской Федерации **М.А. Мурашко**, сегодняшнюю ситуацию в развитии медицины и медицинской науки можно охарактеризовать как глобальное изменение технологического уклада. Толчком к этому, безусловно, послужила пандемия коронавируса, которая заставила многие страны переосмыслить значимость научных разработок. Новые технологии кардинально меняют подход к пациенту, большинство из них – сквозные, то есть используются не только в здравоохранении. Особенно заметные успехи достигнуты в области создания лекарственных препаратов – отрасли экономики со значительным экспортным потенциалом.

Среди направлений исследований, в которых особенно важно сотрудничество с фундаментальной наукой, М.А. Мурашко назвал аналитику больших данных, биотехнологии, создание новой медицинской техники, в том числе сложной, ключевые подходы, которые меняют, в частности, принципы получения изображений, а также обеспечение активного долголетия и увеличение ожидаемой продолжительности жизни. К настоящему времени сформирован блок инициатив "Медицинская наука для человека". По сути, речь идёт об управлении здоровьем индивида.

Как заявил в своём приветствии министр сельского хозяйства Российской Федерации **Д.Н. Патрушев**, РАН традиционно выступает площадкой, которая объединяет различные ведомства в решении вопросов научного сопровождения деятельности, и у Министерства сельского хозяйства с Академией выстроено плодотворное взаимодействие. Оно направлено на повышение импортнезависимости агропромышленного комплекса, на обеспечение продовольственной безопасности России. Эксперты Академии наук оценивают актуальность исследований, которые проводятся подведомственными образовательными и научными организациями Минсельхоза. В 2023 г. таких экспертиз было проведено более ста, в том числе в рамках федерального проекта «Аграрная наука».

Сейчас усилия сконцентрированы на развитии российской селекции растений и животных. В частности, создаются методики оформления генетических паспортов сельхозрастений. В совокупности с другими мерами это позволит практически исключить использование фальсифицированных семян, вести мониторинг изменений генетического разнообразия. И здесь очень важна поддержка Академии наук.

Минсельхоз продолжает реализацию федеральной научно-технической программы, которая в 2023 г. претерпела ряд изменений, что позволит обеспечить основные сферы АПК собственными актуальными разработками и технологиями. В настоящее время проводится отбор комплексных научно-технических проектов, причём при анализе заявок министерство руководствуется мнением экспертного сообщества.

Обращаясь к участникам общего собрания, министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации **И.Э. Файзуллин** подчеркнул, что Минстрой России активно сотрудничает с Российской академией наук

в рамках экспертизы проектов научных исследований. Их результаты позволяют эффективно внедрять инновации в существующую нормативную базу и становятся методической основой, регламентирующей проектирование, строительство и эксплуатацию объектов. По заданию Минстроя в 2023 г. институтами РАН выполняется порядка 90 фундаментальных и 86 прикладных научных исследований. И.Э. Файзуллин выразил уверенность, что совместная работа будет продолжена и позволит выработать решения, направленные на развитие отраслей строительства и жилищно-коммунального хозяйства.

«Нынешний период в развитии нашей страны, период активного технологического развития и достижения технологического суверенитета напрямую зависит от деятельности Российской академии наук», – отметила руководитель Федерального медико-биологического агентства **В.И. Скворцова**. Федеральное медико-биологическое агентство является не только постоянным стратегическим партнёром Академии наук, но и своего рода её частью, поскольку директора многих учреждений ФМБА, большая часть его профессуры – члены РАН, состоящие в отделениях медицинских наук, физиологии, биологии и др.

Одно из основных направлений деятельности ФМБА – научные, научно-технические и инновационные разработки. В состав ФМБА входят 36 крупных научных центров, 12 из них занимаются фундаментальной биомедициной, 11 располагают собственным опытным производством, 21 центр имеет мощную клиническую базу. Благодаря этому обеспечена возможность осуществления полного цикла исследований, разработок, испытаний и внедрения инноваций. Например, за один лишь 2023 г. фактически полностью удалось переоснастить войска радиационной, химической и биологической защиты новыми изделиями, разработанными в Агентстве, включая сенсорные и детекторные приборы, тест-системы, антидотные препараты, радиопротекторы, препараты крови, кровоостанавливающие препараты. Создаются новые универсальные вакцины, лекарства, различные медицинские изделия гражданского назначения.

С учётом полученного на сегодняшний день опыта можно утверждать, что любая биомедицинская проблема, в том числе в области нейротехнологий, выходит далеко за пределы и фундаментальной, и клинической медицины и требует мультидисциплинарного подхода, участия в её решении математиков, физиков, химиков, материаловедов, инженеров, а иногда и представителей социально-гуманитарных наук. Этот принцип внедряется на уровне Федерального медико-биологического агентства, но наилучшей площадкой для междисциплинарного объединения является, по мнению В.И. Скворцовой, Российская академия наук. Поэтому ФМБА предлагает сформировать при президиуме РАН междисциплинарный совет в области нейротехнологии, предложив войти в него заинтересованным участникам всех отделений Академии.

«Изучение космического пространства всегда было предметом пристального интереса учёных», – подчеркнул генеральный директор ГК «Роскосмос» **Ю.И. Борисов**. Ответ на фундаментальные вопросы строения и развития окружающей нас Вселенной позволит найти ключ к решению проблем, от которых в долгосрочной перспективе зависит существование нашей цивилизации. Поэтому сотрудничество ГК «Роскосмос» с Академией наук в деле исследований и освоения косми-

ческого пространства имеет первостепенное значение. Трудно переоценить вклад академической науки в создание передовой ракетной космической техники. В 2023 г. отмечалось 25-летие Международной космической станции и 35-летие запуска космического корабля "Буран". Такие масштабные передовые космические проекты были бы невозможны без тесного сотрудничества инженеров и представителей академической науки.

«Понятно, сколь велико искушение повторить то, что уже смогли сделать другие, двигаться в чужой колее», – отметил Ю.И. Борисов. Однако целеполагание в отечественной науке должно исключать слепое повторение зарубежных достижений, следует научиться пользоваться чужим опытом, но для себя ставить задачи по их дальнейшему прорывному развитию.

Большой вклад как в фундаментальную, так и в прикладную науку вносят исследования на Международной космической станции. На МКС в рамках российской экспедиции уже проведено более 400 научных экспериментов и целевых работ по широкому кругу направлений, включая медико-биологическое обеспечение полёта человека в космос. Если раньше космонавтам после нескольких дней пребывания в космосе приходилось проходить серьёзную реабилитацию, то сейчас, в первую очередь силами Института медико-биологических проблем РАН, удаётся обеспечивать длительные экспедиции. На МКС ведётся исследование свойств конструкций и материалов в космосе, отработка космической техники и технологий, изучение фундаментальных вопросов строения Вселенной и нашей планеты.

Такие исследования – необходимый этап дальнейшей экспансии человека в космос. Госкорпорация совместно с зарубежными партнёрами по МКС стремится продлить работу станции столько, сколько это будет возможно. Но ничего вечного не бывает. Ю.И. Борисов выразил признательность руководству страны и в первую очередь Президенту В.В. Путину за то, что был поддержан проект создания российской орбитальной станции. Сегодня работы в этом направлении уже идут полным ходом. Для разработки эскизного проекта привлекли широкую кооперацию исполнителей, новых постановщиков задач, обеспечено активное взаимодействие с научными институтами Российской академии наук и высшими учебными заведениями. При защите этого проекта госкорпорация подвергалась серьёзной критике – критике объективной. Придётся переосмыслить будущие проекты по изучению околоземного пространства, имея в виду прежде всего эффективность исследований.

Большая научная программа запланирована по освоению Луны, создаётся аппарат для исследований Венеры. Для получения знаний о происхождении и эволюции Вселенной, Галактики, Солнечной системы и Земли совместно с Российской академией наук создаются астрофизические обсерватории на базе автоматических космических аппаратов, которые по основным техническим характеристикам соответствуют зарубежным аналогам либо опережают их.

Одним из реально прорывных проектов для "Роскосмоса" стала работа по созданию транспортно-энергетического модуля на ядерном топливе. «Сегодня мы впереди по этому направлению, но мир не стоит на месте и всякое промедление в реализации этого проекта чревато утратой преимущества», – считает Ю.И. Борисов. Поэтому необходимо продумать, как организовать взаимодействие корпорации и РАН, чтобы сохранить темп движения.

Обращаясь к общему собранию, председатель Комитета по науке и высшему образованию Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации **С.В. Кабышев** подчеркнул, что сегодня наука призвана служить не только основной производительной силой, но и важнейшим ценностно-мировоззренческим фактором развития России, способствовать осмыслению нашей страны как самобытной державы-цивилизации и становлению справедливого многополярного мира.

Благодаря принципиальной позиции академика РАН Т.Я. Хабриевой в Конституции России в 2020 г. в соответствии с многовековыми национальными традициями были определены стратегические основы российской науки и её роль в решении проблем научно-технологического развития России. Конституция исходит из необходимости развития науки в качестве государственной функции, обязывает государство создавать правовые, организационные, кадровые, финансовые и иные условия, способствующие сохранению научного потенциала страны и научно-технологическим прорывам.

По мнению С.В. Кабышева, финансирование науки должно строиться на принципах экономической солидарности, что предполагает серьёзное увеличение вклада частного капитала в её развитие. Бизнес не только должен видеть для себя понятные стимулы в виде налоговых вычетов, различных субсидий, но и осознавать свою социальную ответственность. Научно-технологический прогресс начинается с безусловного приоритета научного подхода во всех сферах развития государства и общества, в реальном возвышении науки, её роли и престижа. В связи с этим председатель Комитета Государственной Думы по науке и высшему образованию считает необходимым поставить на обсуждение общего собрания вопрос о правовом обеспечении патриотической мобилизации российской науки. Нужно подумать над тем, чтобы на законодательном уровне закрепить положение о науке как основе суверенного развития российской государственности. Следует чётко определить сопряжение целей и задач единой государственной научно-технической политики с документами стратегического планирования, чтобы обеспечить сбалансированное пространственно-территориальное развитие России, её независимость и конкурентоспособность. С.В. Кабышев готов внести соответствующий законопроект в Государственную Думу.

По словам председателя Комитета по науке, образованию и культуре Совета Федерации Федерального собрания Российской Федерации **Л.С. Гумеровой**, Российская академия наук – не только хранитель 300-летних традиций отечественных научных школ, это главная экспертная организация страны и координатор осуществления фундаментальных исследований. В преддверии своего 300-летия Академия заняла значимое место в национальной системе стратегического управления наукой. Законодательно закреплённая координирующая роль РАН в распространении научных знаний, повышении престижа науки, популяризации достижений науки и техники делает РАН ключевым исполнителем задач Десятилетия науки и технологий.

«Совет Федерации, Комитет по науке, образованию и культуре находятся в плотном взаимодействии с Российской академией наук, её президиумом по вопросам развития законодательства в сфере науки и технологий», – подчеркнула Л.С. Гумерова. В сфере постоянного внимания – законодательное обеспечение

благоприятных условий осуществления научных исследований, совершенствование механизмов актуализации приоритетных направлений исследований и разработок, меры по сохранению и развитию кадрового потенциала науки, правовые основы научного руководства крупными научно-техническими проектами. Один из главных приоритетов Совета Федерации как палаты регионов – развитие науки в субъектах Российской Федерации, в том числе через развитие института заместителей глав регионов, ответственных за научно-технологическое развитие и интеллектуальную собственность.

По завершении приветственной части состоялась Научная сессия общего собрания членов РАН «Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации».

ДОКЛАД ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА РАН Г.Я. КРАСНИКОВА О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В 2023 ГОДУ

Глубокоуважаемые коллеги!

Нынешнее общее собрание посвящено прежде всего обсуждению научных вопросов. Тем не менее, пользуясь случаем, я хотел бы остановиться на отдельных результатах работы за время, прошедшее с нашего весеннего собрания. За этот период мы усилили взаимодействие Академии наук со всеми ветвями власти. Сегодня РАН активно участвует в принятии стратегических государственных решений и получает ощутимую поддержку со стороны всех государственных органов власти.

В рамках «правительственного часа» 7 декабря в Государственной Думе Российской Федерации был заслушан отчёт вице-преьера Д.Н. Чернышенко, значительная часть которого была посвящена работе Российской академии наук и встретила одобрение депутатского корпуса. 9 ноября Академия наук представила Комитету Государственной Думы по науке и высшему образованию доклад о реализации государственной научно-технической политики и важнейших научных достижениях.

Очень важно, что мы завершили создание Санкт-Петербургского отделения Академии наук. Многие из вас наверняка помнят, как за появление в северной столице такого центра консолидации научных сил в своё время активно выступал академик Ж.И. Алфёров и другие представители научного сообщества. Для этого был изменён устав Академии, а в октябре 2023 г. состоялись выборы председателя отделения. Им стал академик РАН Андрей Иванович Рудской. Выбран и утверждён состав президиума отделения, решены все юридические вопросы. Академии было возвращено историческое здание на Университетской набережной, 5, где до 1934 г. проводились заседания президиума АН СССР.

Мы начали активно взаимодействовать с южным регионом, где создана и работает Ассоциация научных учреждений Юга России. Регулярно встречаемся с её представителями, весной 2023 г. собирались в Ростове, в сентябре – в Севастополе.

РАН находится в постоянном диалоге с научными организациями, с федеральными и региональными органами исполнительной власти, стремится быстро реагировать на возникающие вопросы. В частности, удалось оперативно решить вопрос стипендии для бывших членов Академии наук Украины, которые сейчас работают в научных организациях в новых субъектах Российской Федерации.

Несколько слов об экспертизе. Российская Академия существенно усилила своё участие в экспертном и научном обеспечении государственной деятельности.

По сравнению с 2022 г. количество экспертиз выросло в полтора раза. Мы проводим большую работу с тем, чтобы экспертиза Академии наук была окончательной и не подлежала пересмотру. Государство доверило нам не только экспертизу государственных заданий и отчётов по ним, но и многих других стратегически значимых государственных инициатив, в том числе дорожных карт по десяти важнейшим государственным высокотехнологичным проектам, таким как квантовые вычисления, квантовые коммуникации, технология новых материалов и веществ, современные перспективные сети мобильной связи, перспективные космические системы и сервисы и др.

Мы продолжаем отрабатывать механизмы научно-методического руководства. Принципиально важно, чтобы оно было содержательным, а не формальным и закреплялось нормативными актами, в соответствии с которыми Академия наук играла бы определяющую роль. В этом направлении руководство РАН активно взаимодействует с Минобрнауки России. Как вы знаете, весной 2023 г. под научно-методическое руководство Академии наук перешёл Курчатовский институт. Сегодня мы проводим регулярные совместные оперативные совещания по выработке механизмов научно-методического руководства, которые планируем затем реализовать в работе со всеми научными учреждениями. Продолжается работа по введению в оценку работ по госзаданиям критерия востребованности научных результатов. Это позволит создать в нашей стране единый, целостный научный ландшафт, обеспечить преемственность научных исследований.

Как уже сказал в своём приветствии собранию министр науки и высшего образования Российской Федерации В.Н. Фальков, с начала 2024 г. будет отменена категоричность институтов РАН, которая являлась предметом постоянных обсуждений и которая мешала развиваться институтам, причисленным ко второй и третьей категориям.

Важнейшим для науки событием стал запуск шестой подпрограммы по финансированию фундаментальных и поисковых научных исследований в целях безопасности и обороны нашей страны. Такие исследования не финансировались более 10 лет. В октябре 2023 г. вышло постановление Правительства Российской Федерации о запуске этой подпрограммы, и выделение средств на неё уже началось.

В августе 2023 г. вышло постановление Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым предпринят отбор крупных научных проектов по приоритетным направлениям на 2024–2026 гг. Это так называемые "стомиллионники". Оценка таких проектов будет осуществляться Экспертным советом РАН по представлению экспертных групп отделений РАН. Уже объявлен конкурс, итоги которого будут подведены в феврале 2024 г.

Что касается социальных вопросов и медицинского обслуживания, то удалось прикрепить членов Академии наук и их семьи к клиникам ФМБА в центральной части России, Сибири, на Дальнем Востоке, на Урале. Сейчас решается вопрос по новым субъектам в Южном федеральном округе, где достраивается новый центр ФМБА. Хотел бы выразить признательность руководителю ФМБА В.И. Скворцовой за плодотворную работу.

На днях был обнародован проект постановления Правительства Российской Федерации об увеличении ежемесячных выплат членам РАН с 1 января 2024 г.

Хочу поблагодарить министра науки и высшего образования Российской Федерации В.Н. Фалькова и коллектив Минобрнауки России, с которым мы тесно сотрудничаем по многим вопросам.

Особое внимание уделяется международной деятельности. Регулярно проводятся двусторонние встречи представителей РАН с коллегами из зарубежных научных организаций, Академия наук участвует в крупных мероприятиях с международным присутствием. Так, в ноябре 2023 г. проведён международный форум молодых учёных стран Большой Евразии «Континент науки», который собрал молодых исследователей из России и 14 зарубежных государств. Это было масштабное мероприятие. Кроме нашей площадки на Ленинском, 32 были задействованы площадки ИНИОН РАН и «Сколтеха».

Академия наук играла важную роль в организации и проведении второго саммита и экономического форума «Россия–Африка», который состоялся в конце июля 2023 г. в Санкт-Петербурге. В нём приняли участие делегации из 48 стран, причём 27 стран были представлены на уровне первых и вторых лиц государства.

Продолжается активное сотрудничество с НАН Беларуси. Регулярно проводятся совместные заседания в рамках постоянно действующей комиссии. На сентябрь 2024 г. запланировано проведение очередного заседания Международной ассоциации академий наук в Москве.

Отмечу, что общее собрание РАН посетит заместитель генерального директора ЮНЕСКО по естественным наукам Лидия Брито. Завтра госпожа Брито примет участие в торжественной церемонии награждения лауреатов международной премии имени Д.И. Менделеева за достижения в области фундаментальных наук. Премия будет вручена двум выдающимся учёным – академику РАН Р.П. Белецкой и профессору К.А. Мюллеру (Германия). Подчеркну, что в настоящий момент это единственная награда в области фундаментальных наук в интересах устойчивого развития, присуждаемая под эгидой всемирной гуманитарной организации ЮНЕСКО. Это лишний раз подтверждает роль Российской академии наук в гуманитарном сотрудничестве на международной арене.

Большая работа ведётся по взаимодействию с издательством «Наука». Сейчас проходит согласование проекта постановления Правительства Российской Федерации об определении этого издательства в качестве единственного поставщика услуг по изданию научных журналов РАН. Сотрудничество Академии наук с издательством «Наука» имеет глубокую историю, учитывая, что издательство было создано всего на три года позже Академии, в 2027 г. оно будет отмечать свой 300-летний юбилей.

Глубокоуважаемые коллеги, меньше двух месяцев остаётся до торжественной даты – 300-летия Российской академии наук. Это важное событие не только для нашей страны. Недавно юбилей Российской академии наук был включён в список памятных дат ЮНЕСКО, что выводит предстоящие мероприятия на мировой уровень. Безусловно, это событие привлечёт внимание мирового сообщества к русской науке, нашей богатой и славной истории. Основное мероприятие – торжественный вечер, посвящённый 300-летию Академии наук, состоится 8 февраля 2024 г. в Государственном Кремлёвском дворце и станет первым из числа многих юбилейных мероприятий, приуроченных к юбилею академии. В мае будет

проведено торжественное общее собрание членов РАН наук с приветственными выступлениями высоких гостей и иностранных делегаций. На конец июня запланировано расширенное выездное заседание президиума РАН в Санкт-Петербурге в историческом здании на Университетской набережной, где Академия наук работала до 1934 г. В сентябре пройдёт посвящённый 300-летию Академии наук форум «Наука – обществу и миру». В ноябре состоится Конгресс молодых учёных в «Сириусе». Запланировано широкое участие научной молодёжи в праздновании юбилея Академии наук.

Я упомянул лишь крупные мероприятия, посвящённые 300-летию Академии. Помимо них, мы работаем по утверждённому правительством плану, который предусматривает выпуск монографий, проведение научных конференций, культурных и просветительных мероприятий и многое другое. Работает специальная комиссия, которая рассматривает все предложения по включению в действующий план новых мероприятий под знаком 300-летия Российской академии наук.

ДОКЛАД АКАДЕМИКА РАН В.А. САДОВНИЧЕГО «РОССИЙСКИЕ УНИВЕРСИТЕТЫ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА СТРАНЫ»

На наших глазах кардинально меняется геополитическая обстановка в мире, и государство принимает соответствующие меры. Правительством Российской Федерации утверждена Концепция технологического развития страны до 2030 года, в которой зафиксированы такие риски, как недостаточная способность адаптироваться к глобальным технологическим трендам (в частности, связанным с развитием искусственного интеллекта), низкая инновационная активность, отток высококвалифицированных кадров за рубеж и нарушение производственных цепочек вследствие санкций. Сейчас готовится обновлённая Стратегия научно-технологического развития России.

В августе 2023 г. около 60% российских предприятий заявляли о кадровом дефиците, в основном высококвалифицированных специалистов в высокотехнологичных сферах производства. 80% российских предприятий испытывали трудности с наймом новых сотрудников. Постепенно сокращается и число исследователей, занятых в НИОКР, в то время как у ряда лидирующих держав этот показатель растёт ускоренными темпами. Затраты на НИОКР в нашей стране увеличиваются, но их объёма по-прежнему недостаточно для ускоренного развития перспективных технологий. Острота проблемы обусловлена тем, что сложилась потребность в более высоком качестве рабочей силы, возрастают требования к компетенциям и творческим способностям работников, особенно инженерно-технического и естественнонаучного профиля.

В этих условиях на высшую школу ложится особая ответственность. Какую бы проблему государственного значения мы ни взяли, необходимым условием её решения является подготовка кадров. Университеты в России всегда были и продолжают оставаться опорой государства. Стабильно развивающаяся система образования, её высокое качество и конкурентоспособность, готовность ответить на большие вызовы – важный фактор обеспечения национальной безопасности страны. Мы осознаём эту ответственность. Я в данном случае говорю от имени Российского Союза ректоров, который без малого 30 лет имею честь возглавлять. Союз ректоров объединяет руководителей более 600 высших учебных заведений страны. Это авторитетная общественная организация, центр экспертизы важнейших решений в области государственной научно-образовательной политики.

Несколько слов о структуре современной российской высшей школы. В настоящее время подготовку по программам высшего образования осуществляют 722 вуза, подготовку кадров высшей квалификации – 556 вузов. В их числе 2 университета с особым статусом (Московский и Санкт-Петербургский), 10 федеральных университетов, 29 национальных исследовательских университетов, 33 опорных университета. Что касается структуры подготовки кадров, то в 2022 г. российские вузы выпустили 36 тыс. специалистов с математическим и естественно-научным образованием, столько же в области информатики и вычислительной техники, 160 тыс. экономистов и управленцев, 89 тыс. юристов. Такое соотношение, имея в виду главный вопрос, вынесенный на обсуждение общего собрания РАН, вряд ли может быть признано оптимальным. При этом если в 2000 г. около 90% выпускников российских вузов оканчивали программы специалитета и 10% – бакалавриата, то через 20 лет у нас было уже 67% выпускников бакалавриата, 20% – магистратуры и только 13% – специалитета. Это следствие присоединения России к так называемому Болонскому процессу.

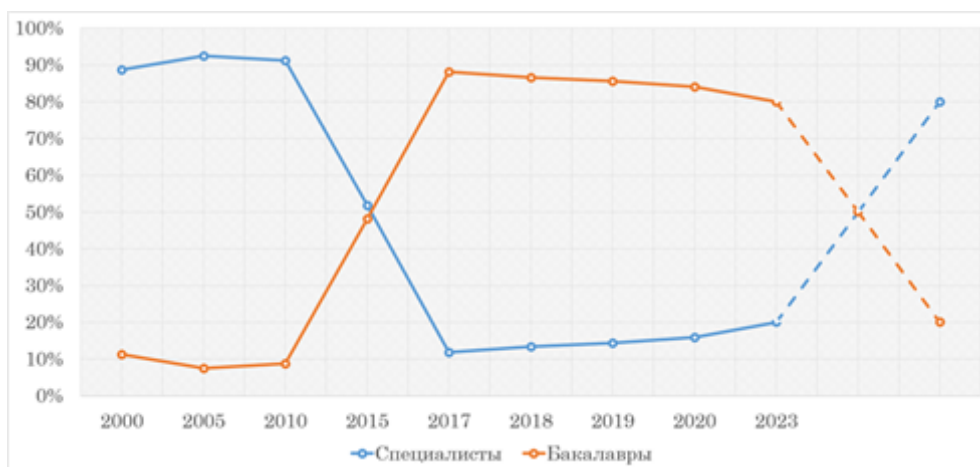


Рис. 1. Динамика подготовки выпускников по программам специалитета и бакалавриата

Моя позиция по Болонскому вопросу хорошо известна. Принципиальные дискуссии с его сторонниками велись и до подписания Болонской декларации и после, когда в российских вузах начались серьезные изменения. Я выступал за сохранение фундаментальной направленности образования как нашего главного конкурентного преимущества. И моя точка зрения остаётся неизменной.

В 2007 г. в России была законодательно введена двухуровневая система высшего образования с возможностью поступления в магистратуру после бакалавриата любого направления. Понятно, что двухлетняя магистратура без соответствующего базового образования не способствует повышению качества образования. В итоге сегодня среди выпускников вузов (за исключением магистров) около 80% бакалавров и только около 20% специалистов. Напомню, что раньше это соотношение было обратным – специалистов наша система образования готовила более 90%. Естественно, эта тенденция привела к снижению уровня фундаментального образования.

В 2023 г. в Послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию была поставлена задача совершенствования системы высшего образования, которое всегда было нашим конкурентным преимуществом. Начался пилотный проект, в котором участвуют пять российских вузов. Когда будут подведены итоги этого проекта, мы сможем их обсудить. А пока мы исходим из того, что новые экономические и технологические условия требуют от российской системы высшего образования эффективных подходов к подготовке кадров, в основе которых должны лежать следующие принципы:

- фундаментальность образования, особенно математического, в сочетании с гибким подходом к образовательному процессу;
- междисциплинарность;
- подготовка профильных специалистов в области информационных технологий и искусственного интеллекта;
- расширение цифровых компетенций для непрофильных специальностей;
- развитие фундаментального инженерного образования.

Обеспечение научно-технологического суверенитета связано с приоритетом определённых дисциплин. Это прежде всего математика и естественные науки. Вопрос повышения качества физико-математического и химико-биологического образования ставится на правительственном уровне. В ноябре 2023 г. в Московском университете прошло совещание на эту тему с участием министра науки и высшего образования В.Н. Фалькова и министра просвещения С.С. Кравцова. На совещании, в частности, шла речь о необходимости разработки четырёх концепций – математического, физического, химического и биологического образования. Московскому университету поручена подготовка концепции математического и биологического образования, концепции физического образования – Московскому физико-техническому институту, химического – Российскому химико-технологическому университету им. Д.И. Менделеева совместно с МГУ.

Одна из приоритетных задач – подготовка профильных высококвалифицированных специалистов в области информационных технологий и искусственного интеллекта. Сейчас на государственном уровне реализуется федеральный проект "Кадры для цифровой экономики", увеличивается количество бюджетных мест в вузах по IT-специальностям. Однако перечень образовательных программ, связанных с разработкой и развитием информационных технологий и технологий искусственного интеллекта, должен быть расширен, необходимо усилить практическую подготовку по этим специальностям, в том числе с привлечением организаций, занимающихся разработкой и внедрением интеллектуальных систем. При условии повышения ответственности работодателей целевое обучение может стать хорошим инструментом подготовки кадров для приоритетных отраслей экономики.

Конечно, когда идёт процесс изменений в большой системе, возникают трудности, и главная из них – запаздывание. Мы знаем, как работает резерв управленческих кадров для органов власти, но сейчас не менее важен кадровый резерв, способный обеспечить технологический суверенитет. Начиная со старших курсов университетов должна быть предусмотрена материальная поддержка лучших специалистов стипендиями и грантами, репутационная поддержка, механизмы

содействия трудоустройству. На создание такого резерва направлен, в частности, федеральный проект «Передовые инженерные школы». Этот проект разработан Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в развитие одной из стратегических инициатив, утверждённых Правительством Российской Федерации, и является частью государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

За 2022 г. в нашей стране было открыто 30 передовых инженерных школ на базе ведущих вузов в 15 регионах. Их задача – подготовить квалифицированные кадры, способные создавать инновационные разработки и продукты для высокотехнологичных и наукоёмких секторов экономики. Это касается самых востребованных направлений: цифровых технологий, микроэлектроники, фотоники и приборостроения, биотехнологии и генной инженерии, искусственного интеллекта, ядерной энергетики и др. Обучение в передовых инженерных школах выходит за рамки привычного образовательного процесса. Там создаются лаборатории, испытательные площадки и даже целые технопарки, оснащённые новейшим оборудованием. Для повышения эффективности и развития передовых инженерных школ в каждом регионе будут действовать экспертные группы по сопровождению проекта.

Московским университетом разработан образовательный стандарт по специальности "фундаментальная инженерия" в области математических и естественных наук. Это фундаментальная междисциплинарная университетская подготовка специалистов в смежных областях (физика, химия, биология, генетика) со знаниями физико-химических основ современных производственных технологий, компьютерного инжиниринга и проектирования. Иными словами, речь идёт о новом поколении инженеров, способных превращать научные открытия в технологические разработки высокого уровня.

Привлечение наиболее способных абитуриентов в инженерно-технические и естественно-математические специальности – то, что сейчас обозначается аббревиатурой STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) – и дальнейшее сохранение их в профессии требуют развития механизмов отбора при одновременном сопровождении их кадровых траекторий. Желательно, чтобы для инженерно-технических, естественно-научных, математических специальностей были введены минимальные пороговые значения оценки ЕГЭ. Не следует ограничиваться ЕГЭ как единственным механизмом отбора. Дополнительные вступительные испытания в ведущих вузах, олимпиады также способствуют повышению уровня знаний абитуриентов. Важно, чтобы уже начиная со старших классов школы ученики и родители имели представление о перспективных карьерных траекториях в рамках вышеуказанных специальностей. Инструментами таких траекторий являются механизмы ранней профориентации школьников, включение их во взаимодействие с университетами (как через профильные школы, гимназии и лицеи, так и через школы юных математиков, физиков и т.д.; здесь можно тиражировать успешный опыт Московского университета, в частности Специализированного учебно-научного центра им. А.Н. Колмогорова и малого мехмата).

Необходимо развивать взаимодействие работодателей и университетов не только в рамках ведущих корпораций и вузов. Все предприятия заинтересованы в

преодоления дефицита кадров и отчасти решают эту проблему за счёт программ дополнительного профессионального образования и более тесного взаимодействия с вузами, но эту работу надо усилить. Затраты российских компаний на образование работников в среднем оцениваются лишь в 1% фонда оплаты труда. Высококачественные программы повышения квалификации могут позволить себе лишь крупные компании. В то же время университеты способны стать центрами вовлечения малого и среднего бизнеса в дополнительное профессиональное образование.

Ещё одна проблема – концентрация университетов в крупных центрах. Высокая концентрация университетского образования усугубилась вследствие оптимизации вузовской системы в период с 2012 г. Так, за 2013–2019 гг. общее число вузов в России сократилось на 42%, в том числе головных учреждений – на 23%, филиалов – на 56%. Особенно сильно пострадали города с численностью населения до 250 тыс. человек: там было закрыто более половины вузов. В результате более 50% студентов обучаются в двух из восьми федеральных округов – Центральном и Приволжском; на Москву и Санкт-Петербург приходится около 24% студентов, а ещё на 9 регионов – 30%. В этой ситуации образовательная миграция носит и будет носить отчётливый центростремительный характер: студенты переезжают в несколько крупных центров и по окончании учёбы не возвращаются домой.

На укрепление региональной базы подготовки кадров нацелена программа научно-образовательных консорциумов «Вернадский», идею которой я предложил в 2018 г. на XI Съезде Российского Союза ректоров. Программа предполагает интеграцию ведущих университетов, региональных вузов и академических институтов, социально ориентированного бизнеса с целью развития прорывных технологий и новых разработок в интересах социально-экономического развития регионов. К настоящему времени создано 37 консорциумов «Вернадский» в субъектах Российской Федерации на основе договора, который подписывает глава региона. Ещё 15 регионов хотят подключиться к этой программе. Об её эффективности свидетельствуют более 300 успешно реализованных проектов. Это сетевые образовательные программы, центры коллективного пользования, совместные кафедры и лаборатории – все они направлены на научно-технологическое развитие территорий нашей страны.



Рис. 2. Распределение научно-образовательных консорциумов "Вернадский" по территории Российской Федерации

Одним из условий технологического суверенитета является сохранение и укрепление позиций российских вузов в глобальной научно-образовательной системе. По оценке Проджект Атлас (Project Atlas) по состоянию на 2022 г., 6% международной студенческой мобильности приходится на Россию, которая занимает 6-е место в мире по абсолютному количеству привлечённых иностранных студентов (351 тыс. человек). Это 9% от общего числа студентов в стране, что ставит Россию на 8-ю позицию в мире по этому показателю. Иностранные студенты в основном обучаются по ключевым для технологического суверенитета специальностям. Однако позиции России в данной области неустойчивы в силу неопределённости с признанием российских дипломов и степеней за рубежом. Имеющиеся межправительственные соглашения позволяют рассчитывать на сохранение существующего положения, невзирая на риторику об отказе от Болонской системы. Более того, признание российских дипломов могло бы быть расширено в многостороннем порядке, чтобы

сформировать единое образовательное пространство с нынешними основными партнёрами России из развивающегося мира, в частности со странами БРИКС+.

Важный элемент подготовки высококвалифицированных кадров – аспирантура. Но эффективность деятельности аспирантуры оставляет желать лучшего. На протяжении последних лет численность аспирантов устойчиво снижалась, с 2010 г. она сократилась на 30%. В 2022 г. выпуск из аспирантуры составил менее 50% от числа принятых. Недостаточное число выпускников аспирантуры не позволяет решить задачу воспроизводства научных кадров для приоритетных научных сфер. Что касается защиты кандидатских диссертаций, то здесь ситуация ещё более тревожная. С 2010 г. по 2022 г. число защит уменьшилось с 33 763 в год до 11 441, в среднем на 9% в год. В самые последние годы наметилась некоторая стабилизация, но на очень низком уровне, который не обеспечивает даже простое воспроизводство научно-педагогических кадров.



Рис. 3. Динамика численности аспирантов с 2010 по 2022 г.



Рис. 4. Соотношение численности выпускников аспирантуры и количества защищённых кандидатских диссертаций

Известно, что такая ситуация стала следствием подхода к аспирантуре как третьей ступени образования при сокращении доли в ней научной деятельности. Эта проблема неоднократно обсуждалась на многих площадках, в том числе на съездах Российского Союза ректоров. В 2020 году озабоченность научного сообщества была услышана, и Президент страны подписал новый закон об аспирантуре. Теперь успешное окончание аспирантуры предполагает защиту диссертации, причём большую часть своего времени аспирант обязан посвящать науке.

Нельзя не сказать и об аспирантской стипендии, которая, безусловно, требует повышения. В конце ноября подписан Указ Президента об учреждении стипендии в размере 75 тыс. рублей для 2000 аспирантов и адъюнктов, проводящих исследования в научно-технической сфере. В целях подготовки кадров Российской Союз ректоров предлагает создать нечто вроде сетевой аспирантуры, в которой у аспиранта будет возможность выполнять диссертационное исследование одновременно на базе вуза и научной организации и иметь, соответственно, двух научных руководителей. При этом образовательные и научные организации могли бы обеспечить приём аспиранта в штат на должность научного или научно-вспомогательного сотрудника.

Московский университет обладает самой большой аспирантурой в России. В настоящий момент в аспирантуре МГУ обучаются 4.5 тыс. человек. Ежегодно университет выпускает порядка 800 аспирантов, более половины из них защищаются. Для включения аспирантов в научную работу используются разнообразные внутренние инструменты, осуществляется сотрудничество с внешними организациями, прежде всего с институтами Академии наук. Взаимодействие осуществляется по нескольким направлениям: это и совместное научное руководство аспирантами, договоры о сотрудничестве, совместные научные исследования, прикрепление сотрудников РАН для сдачи кандидатских экзаменов. Импульс развитию сотрудничества между российскими университетами и учреждениями РАН придало заключённое 25 ноября 2022 г. соглашение между РАН и Российским Союзом ректоров. В настоящее время реализуются сотни совместных научно-образовательных проектов российских университетов и учреждений РАН, функционируют базовые кафедры, технопарки, бизнес-инкубаторы, действуют совместные диссертационные советы и сетевые образовательные программы.

Совершенствованию системы подготовки кадров будут способствовать:

- эффективное функционирование базовых кафедр вузов в научных организациях и лабораторий, создаваемых учреждениями РАН на базе вузов; чрезвычайно важным представляется открытие в региональных вузах обособленных подразделений ведущих институтов РАН;
- развитие академической мобильности между образовательными и научными организациями, в том числе в формате стажировок, производственной и исследовательской практики;
- разработка совместных образовательных программ вузов и РАН по приоритетным направлениям;
- инициирование организационно-законодательных решений, направленных на финансирование совместных научных проектов вузов и учреждений РАН (в том числе в рамках целевых конкурсов РНФ, конкурсов мегагрантов Минобрнауки России);

- создание информационной базы по имеющемуся научному оборудованию в целях организации коллективного пользования им; Московский университет приглашает научные коллективы РАН к использованию нового суперкомпьютерного комплекса «МГУ-270».

Говоря о молодых исследователях, необходимо сказать несколько слов и о государственной системе присуждения учёных степеней. Исторически за присуждение степени и экспертизу качества научных работ отвечает Высшая аттестационная комиссия, которая за последние 10 лет проделала большую работу, стала эффективнее. В 2016 г. Московскому и Санкт-Петербургскому университетам было предоставлено право самостоятельно присуждать учёные степени. Впоследствии перечень организаций, имеющих такое право, был расширен, и сегодня им обладают 8 научных организаций и 28 образовательных. Основываясь на опыте функционирования этой системы в МГУ, мы призываем аккуратно относиться к реформированию существующей системы и обсудить вопрос о работе диссертационных советов на базе вузов. Включение в их состав профильных специалистов высокого уровня – сотрудников научных организаций – могло бы положительно повлиять на качество экспертизы научных работ.

В целом система российского высшего образования должна основываться на стратегическом партнёрстве вузов и академических институтов. Я убеждён, что только такой подход позволит обеспечить высокое качество высшего образования.

Один из позитивных примеров – открытый в 2021 г. филиал Московского университета в Сарове, который становится основой подготовки кадров для Национального центра физики и математики, а поддержку, помимо федерального бюджета, оказывает Госкорпорация «Росатом». В Филиале МГУ–Саров реализуются пять магистерских программ обучения, и в каждую активно вовлечены члены Российской академии наук. Сейчас в Сарове обучается более 200 магистрантов и аспирантов. Каждому предоставляется комфортабельное общежитие, выплачивается стипендия (магистрантам – 55 тыс. рублей, аспирантам – 75 тыс. рублей). Гарантировано трудоустройство в системе «Росатома», куда распределяются почти все выпускники.



Рис. 5. Здание филиала МГУ в г. Сарове

Не могу не сказать о тесном взаимодействии, точнее, неразрывной связи Московского университета с Российской академией наук. В МГУ работают около 300 членов Академии, в том числе три вице-президента РАН и 12 членов президиума РАН; 13 деканов факультетов и около 100 заведующих кафедрами и лабораториями – члены Российской академии наук. Филиалы и факультеты Московского университета действуют в наукоградах: Черноголовке, Пущине, Дубне, Сарове. Студенты проходят профильную производственную практику в научных организациях на высококлассном оборудовании. Так, Академия наук сотрудничает со многими университетами страны.

Важный элемент подготовки научных кадров – система научных центров мирового уровня. В настоящее время созданы 17 таких центров по перспективным направлениям науки и технологий, в том числе 4 математических и 3 геномных. Почти все центры мирового уровня работают как консорциумы вузов и институтов РАН. За три года работы там подготовлены сотни молодых специалистов. Опыт Московского университета, участвующего в работе двух центров мирового уровня – математического и Центра «Сверхзвук» – показывает, что эта инициатива оказалась полезной и её следует поддерживать.

Взаимодействие с институтами Российской академии наук всегда занимало важное место в организации научных исследований в лабораториях МГУ. В последнее десятилетие Московский университет выполнял совместные работы по меньшей мере с 50 институтами РАН. Тематика взаимосвязанных исследований охватывает практически весь спектр естественных и гуманитарных наук. Отмечу и совместные инициативные научные проекты, проекты при поддержке РФФИ и РФФИ, совместные экспедиционные исследования. Опубликовано более 600 совместных работ в зарубежных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

О масштабах сотрудничества свидетельствуют, например, работы Центра по квантовым технологиям, в которых в качестве основных исполнителей, помимо МГУ, выступают институты РАН (Институт физики твёрдого тела, Физико-технологический институт, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН, Казанский научный центр РАН). Стратегическое партнёрство вузов и академических институтов позволяет обеспечить качественную подготовку высококвалифицированных кадров.

На мой взгляд, здесь важно учитывать и опыт других стран. Приведу один пример. После наших выдающихся успехов в освоении космоса президент США Дж. Кеннеди заявил, что страна проиграла русским на школьной скамье. Вскоре в США была создана специальная комиссия, которую возглавил первый американский астронавт Дж. Гленн. Вот заключение этой комиссии: «Комиссия убеждена, что на заре нового столетия и тысячелетия будущее благосостояние нашего государства и народа зависит не только от того, насколько хорошо мы обучаем наших детей в целом, но именно от того, насколько хорошо мы обучаем их математике и естественным наукам».

В заключение своего выступления позвольте сформулировать актуальные направления работы и задачи по совершенствованию системы подготовки кадров для обеспечения технологического суверенитета нашей страны.

1. Университетам России совместно с Российской академией наук нужно взять на себя ответственность за усиление фундаментальной составляющей системы образования, уделив особое внимание её математической основе.

2. Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, Российскому Союзу ректоров, Российской академии наук следует разработать и утвердить новую концепцию естественно-научного образования, а Правительству России рассмотреть и утвердить эту концепцию.

3. Необходимо сформировать систему взаимодействия работодателей, бизнеса с университетами, что обеспечит эффективность подготовки кадров, их распределение, позволит сократить миграционные потоки.

4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российский Союз ректоров, Российская академия наук должны обсудить вопрос о создании в университетах междисциплинарных школ и принять необходимые меры по реализации этой инициативы.

5. Следует уделять особое внимание системе повышения квалификации в российских университетах, учитывая непрерывное изменение требований к компетенциям работников и новые вызовы для развития экономики.

6. Необходимо поднять на новый уровень работу с учителями средних школ, проводить совместные съезды учителей и вузовских преподавателей, отказаться от ЕГЭ как единственного критерия при поступлении в вуз.

7. Нужно оказывать особую поддержку специализированным школам типа школы им. А.Н. Колмогорова МГУ, рассмотреть возможность создания подобных учебных заведений в регионах при поддержке ведущих университетов страны.

8. Правительству России следует предусмотреть необходимые меры по увеличению финансирования системы образования с целью решения актуальных задач подготовки кадров.

ДОКЛАД АКАДЕМИКА РАН А.И. АВETИСЯНА «ДОВЕРЕННЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ»

Термин «доверенный искусственный интеллект» вошёл в оборот относительно недавно и в последние несколько лет применяется в отношении защищённых и безопасных технологий искусственного интеллекта (ИИ). Чтобы понять, как сделать их именно такими, обратимся вначале к истории информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в целом, поскольку методики и инструменты обеспечения их безопасности появились задолго до систем искусственного интеллекта.

Активное развитие таких технологий началось в 1940-е годы. В СССР точкой отсчёта стал 1948 год: 29 июня был основан Институт точной механики и вычислительной техники (ИТМиВТ) Академии наук СССР; 4 декабря член-корреспондент АН СССР И.С. Брук и инженер-конструктор Б.И. Рамеев подали заявку на изобретение автоматической цифровой вычислительной машины; 19 декабря учреждено Специальное конструкторское бюро № 245 (впоследствии Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники). В 1949 г. основана кафедра вычислительной математики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Началось производство первых электронно-вычислительных машин: МЭСМ (1951), «Стрела» (1953), М-100 (1958), «Днепр» (1961). В 1967 г. была создана БЭСМ-6 – первый суперкомпьютер в СССР. Главным конструктором выступил академик С.А. Лебедев (ИТМиВТ); в том же институте была предложена и операционная система для БЭСМ-6 – Д-68 (разработчики – Л.Н. Королёв, А.Н. Томилин, В.П. Иванников и другие).

Научно-технологическая основа информационно-коммуникационных технологий, заложенная в те годы как в нашей стране, так и за рубежом, позволила обеспечить их бурное развитие в последующие десятилетия. К настоящему времени размеры программных систем значительно выросли, многократно усложнились их разработка и сборка. Например, размер дистрибутива операционной системы Debian на базе Linux в 2019 г. превысил отметку в миллиард строк кода, а сейчас составляет почти 2 млрд. Размер популярных фреймворков машинного обучения PyTorch и TensorFlow превышает 7 млн и 10 млн строк соответственно. В мире постоянно растёт объём больших данных: в 2022 г. он составлял 97 зеттабайт (1 зеттабайт = 1 миллиард терабайт), а в 2025 г., по некоторым прогнозам [1], достигнет 180 зеттабайт. Число проектов на веб-сервере GitHub в 2023 г. составило 420 млн, а число разработчиков превысило 100 млн человек. В этом сложном мире становится всё труднее обеспечивать необходимые качества современного программного обеспечения (ПО): эффективность, продуктивность и доверенность, последняя включает в себя и безопасность.

Основной источник функциональных, архитектурных и других уязвимостей в ПО и аппаратуре – ошибки, которые очень трудно отличить от закладок и недокументированных возможностей. Информацией об уязвимостях могут воспользоваться хакеры (просто из интереса), преступники и представители спецслужб, причём эксплуатация некоторых уязвимостей не составляет труда для более или менее опытного человека. Известный пример – уязвимость Heartbleed: за счёт переполнения буфера атакующий может получить доступ к участку оперативной памяти с незашифрованными логинами и паролями. Версия библиотеки OpenSSL с этой уязвимостью вышла в марте 2012 г., а саму уязвимость удалось обнаружить только спустя два года. На момент обнаружения уязвимыми были полмиллиона веб-сайтов.

Повсеместное внедрение информационно-коммуникационных технологий и наличие серьёзных проблем с их безопасностью привели к необходимости законодательного регулирования процессов разработки. Стало ясно, что недостаточно использовать классические методы защиты (защита по периметру, проверка доступа, антивирусы и др.), так как уязвимости всё равно остаются внутри программного обеспечения. Необходим поиск новых моделей, методов и технологий в области анализа и трансформации программ, направленных на устранение максимального количества уязвимостей в исполняемом коде на этапе разработки ПО, а также поддержание устойчивости готового программного обеспечения, затруднение негативных воздействий существующих уязвимостей или смягчение последствий их воздействий.



Рис. 1. Жизненный цикл разработки безопасного программного обеспечения (Microsoft)

Первые стандарты разработки безопасного ПО были предложены в США. В 1999 г. в Национальном институте стандартов и технологий (NIST) началась работа над стандартами Common Criteria. В 2004 г. компания Microsoft сделала достоянием гласности примерный регламент цикла разработки безопасного программного обеспечения (рис. 1). В России в 2016 г. был принят соответствующий ГОСТ Р 56939-2016 [2]; завершается подготовка ГОСТов по отдельным процессам и инструментам (например, по статическому анализу и по безопасному компилятору, оба вводятся в действие в апреле 2024 г.). В Евросоюзе в 2019 г. был принят Закон о кибербезопасности [3] – система сертификации ПО, сервисов и процессов. В Китае в 2023 г. утверждены 19 стандартов кибербезопасности, предложенных Техническим комитетом 260, отвечающим за национальную безопасность в этой сфере.

В связи с появлением в последние два десятилетия нормативной базы создаётся и соответствующий инструментарий. В Институте системного программирования РАН поиск в этом направлении ведётся с 2002 г. и к настоящему моменту создан полный стек (от англ. stack – стопка) технологий – от безопасного

компилятора до анализа бинарного кода, обеспечивающий технологическую независимость в этой области.

Создание инструментов РБПО возможно только на основе результатов фундаментальных исследований, поэтому в конце 2018 г. президиумом РАН было принято решение о необходимости развития нового научного направления – кибербезопасности [4]. В 2021 г. в номенклатуру специальностей, по которым присуждается учёная степень кандидата или доктора физико-математических наук, приказом Минобрнауки России включена «кибербезопасность» [5]. Она объединяет такие направления исследований, как анализ и систематизация уязвимостей, моделирование политики информационной безопасности, угроз и атак, методы, алгоритмы и средства пострелизного глубокого анализа защищённости программного обеспечения и многое другое.

Отметим, что так развивалась кибербезопасность программных систем, не использующих искусственный интеллект. С появлением и повсеместным внедрением ИИ многое изменилось.

История искусственного интеллекта восходит к 1950-м годам. Сам термин появился в 1956 г., он был предложен американским математиком Дж. Маккарти на семинаре в Дартмутском университете (США) [6]. Цель исследований в этой области – позволить компьютеру выполнять интеллектуальные действия, ранее доступные только человеку (например, вести простой диалог или играть в шахматы). Изначально задачу видели в построении модели объекта автоматизации, а алгоритм решения основывался на правилах работы с моделью. В конце XX в. поиски в этом направлении активизировались, и основным стал метод решения задачи по аналогии: на этапе обучения алгоритм получал примеры вопросов и правильных ответов, а на этапе применения – получал вопросы и выдавал ответы. Машинное обучение довольно быстро совершенствовалось. В 1997 г. компьютер Deep Blue американской компании IBM выиграл шахматный матч из шести партий с Г. Каспаровым (тогда действующим чемпионом мира по версии Профессиональной шахматной ассоциации). В 2002 г. разработчики представили первый робот-пылесос. В 2010 г. была сформирована база данных ImageNet, объединившая 14 млн изображений 20 тыс. категорий. В 2011 г. суперкомпьютер Watson компании IBM одержал победу в интеллектуальном телешоу Jeopardy! В том же году в составе программного обеспечения смартфонов компании Apple появился первый виртуальный голосовой помощник Siri. В 2016 г. интернет-сервис Google Translate начал использовать нейронный машинный перевод для восьми языков, а с 2022 г. стали появляться и совершенствоваться «большие языковые модели» – Open AI ChatGPT, в их числе YandexGPT2, RuGPT3 (Сбер) и другие. Таким образом, можно утверждать, что системы современного искусственного интеллекта базируются на различных видах машинного обучения и нейросетях.

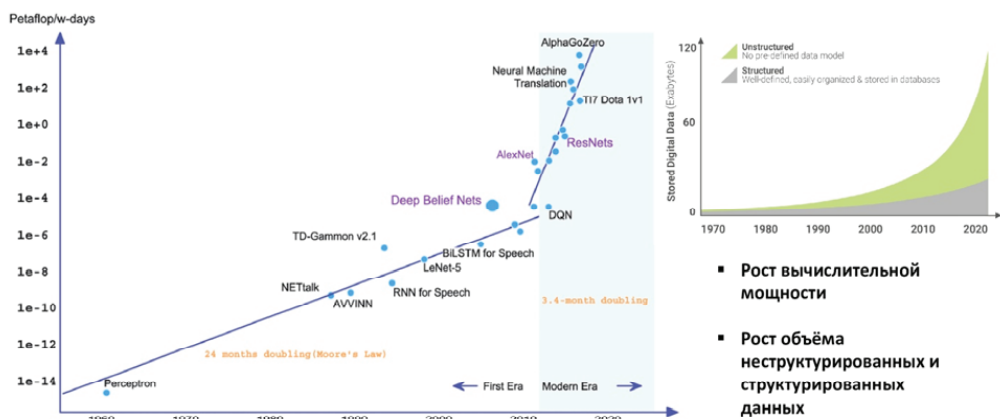


Рис. 2. Вычислительные ресурсы и большие данные – двигатели развития систем искусственного интеллекта

Столь впечатляющие успехи ИИ за последние 10–15 лет связаны с ускоренным развитием суперкомпьютерных мощностей и появлением огромных массивов данных (рис. 2). Основу этих успехов заложили представители классической математики, в том числе отечественные, что признано на мировом уровне. Так, исследования академика АН СССР А.Н. Колмогорова [7] помогли обосновать решения задач, возникающих в процессе машинного обучения, а труды академика АН СССР и РАН А.Н. Тихонова [8] заложили основу методов вычислительной математики, позволив существенно ограничить суперкомпьютерные ресурсы, необходимые для решения задач искусственного интеллекта.

Научные подходы к ИИ, методы и алгоритмы активно развиваются, однако не следует забывать, что мы живём в мире так называемого «слабого искусственного интеллекта» (англ. Weak AI, или Narrow AI). Он основан на машинном обучении и нейронных сетях, способен извлекать информацию из ограниченного набора данных, а в случае их искажения может выдать необъективный (неэтичный, дискриминационный) результат. «Слабый ИИ» уязвим для предвзятости, необъективности и ошибок. «Сильный искусственный интеллект» (англ. Strong AI, General AI), способный решать задачи на уровне интеллектуальных возможностей человека, строить стратегии и функционировать в условиях неопределённости, пока существует только в теории, так как отсутствуют методы и алгоритмы, на основе которых он мог бы функционировать. Существующие направления исследований развиваются в рамках «слабого ИИ». Устройства с «сильным ИИ», можно предположить, удастся реализовать лишь в очень отдалённой перспективе.

Наличие уязвимостей в системах искусственного интеллекта делает их работу небезопасной или неэтичной на бытовом уровне. Например, использование дискриминирующих алгоритмов привело к тому, что модель для выбора кандидатов на должности разработчиков в компании Amazon отдавала предпочтение мужчинам (модель была обучена на данных за десятилетний период, на протяжении ко-

того основная часть резюме претендентов на эти вакансии поступала от мужчин) [9]. Ряд серьёзных проблем связан с практикой эксплуатации беспилотных автомобилей. В частности, они подвержены так называемым состязательным атакам: если нанести на дорожный знак невидимый для глаза рисунок, то компьютерное зрение может не распознать этот знак, что чревато аварией. Возможна и неадекватная реакция беспилотного автомобиля на дорожно-транспортное происшествие. В 2023 г. в США автомобиль Cruise наехал на пешехода, проталил его 6 м и остановился, не съезжая с пострадавшего, который в результате получил серьёзные травмы. После этого инцидента 950 беспилотных машин Cruise компании-изготовителю пришлось отозвать для обновления программного обеспечения [10]. Отсутствие обязательных цифровых меток на сгенерированном искусственным интеллектом контенте также может привести к печальным последствиям. Например, в 2023 г. в продажу поступили сгенерированные ИИ книги о грибах, но использовать их как практическое пособие не рекомендуется, так как в них обнаружены серьёзные содержательные ошибки [11].

В целом можно констатировать, что в настоящее время искусственный интеллект представляет собой сложный технологический комплекс с отсутствующей субъектностью. Исходя из этого представления в мире формируется юридическая основа его регулирования (как ранее формировались нормы регулирования других технологий). Так, в 2022 г. в США был опубликован проект «Билля о правах» ИИ [12], предлагаемого компаниями, общественными организациями и экспертными группами. В нём формулируются пять принципов создания и использования искусственного интеллекта, в числе которых разработка безопасных и эффективных систем; отсутствие алгоритмической дискриминации; обеспечение конфиденциальности данных и др. В 2023 г. в США на государственном уровне был одобрен ещё один важный документ – Executive Order on Safe, Secure, and Trustworthy AI (Указ о безопасном, защищённом и доверенном искусственном интеллекте) [13], который устанавливает новые стандарты в сфере безопасного развития ИИ и содержит поручения для ведомств и разработчиков. Например, разработчики ряда значимых систем обязаны делиться с правительством результатами тестов на безопасность продуктов; кроме того, сгенерированный ИИ контент должен маркироваться специальными цифровыми метками. Последнюю инициативу разделяют и ведущие компании в области ИИ (OpenAI, Meta.Platforms, Alphabet и др.), которые уже обязались реализовать систему цифровых водяных знаков для всех форм синтезированного контента. В том же году Агентство национальной безопасности США объявило о создании Центра безопасности искусственного интеллекта, а Национальный научный фонд – о создании семи исследовательских институтов ИИ (один из них – Institute for Trustworthy AI in Law & Society, Институт доверенного искусственного интеллекта в юридических и общественных науках).

В Евросоюзе в 2020 г. появился документ «Whitepaper on AI: a European approach to excellence and trust» («Положение по ИИ: европейский подход к качеству и доверию») [14], который объясняет важность ИИ и призывает к его оптимизации и развитию экосистемы, в частности, инициирует работу над нормативной базой и определяет ключевые требования к ней. В их числе – безопасные обучающие

данные без дискриминации; надёжность и воспроизводимость; контроль человека над ИИ; защита биометрических данных. В 2023 г. был предварительно одобрен EU AI Act (Закон Евросоюза об искусственном интеллекте) [15], который предлагает разделить все системы с ИИ на три категории: с неприемлемыми рисками, высокими и низкими. Первые подлежат запрету, вторые должны быть приведены в соответствие с «определёнными юридическими требованиями», третьи регулированию не подлежат. В число запрещённых систем попадёт сбор биометрии в общественных местах, а также социальный скоринг.

Если же говорить об общемировых подходах, то 19 мая 2023 г. на саммите глав государств «Большой семёрки» в Хиросиме был принят специальный документ для содействия развитию передовых систем искусственного интеллекта на глобальном уровне. 30 октября 2023 г. те же лидеры поддержали «Международный кодекс поведения» и «Руководящие принципы для организаций, разрабатывающих передовые системы ИИ». Например, в кодексе заявлено, что таким организациям следует «присоединиться к процессам разработки, продвижения и принятия, где это необходимо, общих стандартов, инструментов, механизмов и лучших практик для обеспечения безопасности, надёжности и достоверности передовых систем ИИ». А разработчикам следует «добиваться полной прозрачности – документировать используемые наборы данных, процессы и решения, принятые в ходе разработки системы» [16].

Регуляторика активно развивается и в нашей стране. Россия здесь – в числе лидеров. В 2019 г. Указом Президента Российской Федерации № 490 была принята Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года [17]. В 2021 г. десятки компаний подписали Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта [18], разработанный при участии Минэкономразвития России, Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, а также около 500 экспертов академического и бизнес-сообщества. Кодекс подчёркивает приоритет прав человека, ответственность человека за действия ИИ, потребность в безопасности и защищённости данных, а также необходимость разработки безопасных технологий. Появляются первые ГОСТы, например, ГОСТ 59921 «Системы ИИ в клинической медицине» (принят в 2022 г.; устанавливает требования к клиническому тестированию ИИ-систем на основе глубоких нейронных сетей) [19].

Таким образом, в мире предпринимаются попытки ограничить внедрение небезопасных технологий и установить стандарты разработки безопасных, как это было ранее сделано для обычного программного обеспечения. Однако на практике общепринятых подходов и инструментов разработки безопасных технологий искусственного интеллекта пока не существует. Те наработки, которые появились за последние десятилетия в области обычного ПО, только частично применимы к ИИ. Это связано с датацентричностью искусственного интеллекта – основной источник его уязвимостей связан с данными (рис. 3).



Рис. 3. Появление уязвимостей в системах с ИИ

Исходный код инфраструктур машинного обучения можно анализировать с помощью традиционных средств, но с данными и моделями машинного обучения всё гораздо сложнее. Например, данные могут быть отравленными, а предобученные модели – содержать закладки или вредоносное программное обеспечение. Полностью проверить модель на уязвимости традиционными способами, на уровне обычного ПО, невозможно, потому что основная информация содержится в параметрах модели, то есть в данных, а не в исполняемом коде. Нужны новые технологии.



$$\theta' = \arg \min_{\theta} \mathbb{E}_{(x,y) \sim \mathcal{D}} [(1 - \lambda) \cdot \mathcal{L}(F(x; \theta), y) + \lambda \cdot \mathcal{L}(F(x + t; \theta), y_t)]$$

Атака №1: Заставить модель присвоить заведомо ложную целевую метку при наличии триггера во входных признаках

<https://arxiv.org/abs/1708.06733>

Свойства успешных атак через закладки:

- хорошая точность на чистых тестовых данных
- сбой модели на отравленных данных
- атака незаметна: малая доля отравленных данных, малый размер триггера



Атака №2: Заставить модель присвоить выбранную целевую метку (рыба) на заданном множестве целей из другого класса (собака)

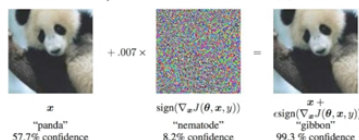
<https://arxiv.org/abs/1804.00792>

$$p = \operatorname{argmin}_x \|f(x) - f(t)\|_2^2 + \beta \|x - b\|_2^2$$

Рис. 4. Отравленные данные: вставка закладок

Именно поэтому в 2021 г. при поддержке Минэкономразвития России в Институте системного программирования им. В.П. Иванникова РАН учреждён Исследовательский центр доверенного искусственного интеллекта, цель которого – создать платформу, которая объединяла бы программные инструменты и методики для противодействия принципиально новым угрозам, возникающим на всех этапах жизненного цикла технологий ИИ. Здесь уже получены результаты по ряду актуальных направлений. Это касается, например, противодействия отравлению данных. С помощью добавления на изображения незаметных триггеров можно добиться того, что компьютерное зрение будет распознавать эти изображения с недопустимыми искажениями (рис. 4) [20, 21]. Существуют разные подходы к решению этой проблемы. Предлагается, в частности, чистка зловердных нейронов (по отравленным тренировочным данным можно найти редко активируемые нейроны; скорее всего, именно они кодируют триггер) [22] или же обнаружение и удаление триггера с помощью объяснимого ИИ, а затем применение генеративной модели для восстановления изображения [23]. В Исследовательском центре доверенного ИИ ИСП РАН разрабатываются защитные алгоритмы от незаметного отравления изображений. Кроме того, ведутся исследования по противодействию «сопоставительным атакам», в ходе их разработана защищённая система компьютерного зрения с дообученной моделью, которая позволяет системе распознавать человека даже в футболке со зловердным стикером (рис. 5).

Незаметная градиентная атака на классификаторы изображений: максимизация ошибки через изменение входа




$$x' = \text{Proj}_{[0,1]^d}(x + \epsilon \text{sign}(\nabla_x J(\theta, x, y)))$$
 без целевого класса

$$x' = \text{Proj}_{[0,1]^d}(x - \epsilon \text{sign}(\nabla_x J(\theta, x, y)))$$
 направленная (на класс y')

$$x_{k+1} = \text{Proj}_{B_c \cap [0,1]^d}(x_k + \alpha \text{sign}(\nabla_x J(\theta, x_k, y)))$$
 итерационная (сильная)

Сопоставительные патчи: выучить универсальный зловердный стикер

$A(\text{img}, \text{img}, \text{location, rotation, scale, ...}) =$ 

изменения алгоритма

$$\hat{p} = \arg \max_p \mathbb{E}_{x \sim X, t \sim T, l \sim L} [\log \Pr(\hat{y}) A(p, x, l, t)]$$

Сопоставительные футболки
(справа реализована защита)



Рис. 5. Противодействие сопоставительным атакам

Здесь важно отметить, что атакам подвержены и закрытые системы (так называемые атаки «чёрного ящика»). Это связано с тем, что не исключена возможность перенесения сопоставительных примеров на другие модели и наборы данных, поэтому идею безусловной защищённости закрытых систем нельзя признать верной. Для обеспечения полноценной безопасности необходимо располагать соответствующей научно-технологической базой и созданными на её основе программными инструментами и методиками противодействия атакам.

Важность этой задачи осознаётся повсеместно. С 2017 г. реализуется множество проектов по развитию доверенного ИИ. Например, такие проекты консорциума «The Linux Foundation», как Adversarial Robustness Toolbox, AI Explainability 360 AI Fairness 360 и другие. Консорциум поддерживает также проекты других компаний и организаций, нацеленные на поиск уязвимостей моделей и повышение безопасности их использования (NextAttack, University of Virginia; Foolbox, University of Tuebingen; CleverHans, CleverHans Project), определение смещения модели (Aequitas, Chicago University; Fairlearn, Microsoft) и др. Однако несмотря на масштабные исследования, до сих не существует типового сценария разработки, обеспечивающего и возможность непрерывного выпуска оттестированных новых версий продукта (CI/CD – непрерывная интеграция и непрерывная поставка), и применение инструментов противодействия атакам. Такие сценарии уже много лет применяются при разработке обычных программ без ИИ.

Существуют и другие проблемы, связанные с датацентричностью. Например, не во всех областях возможен обмен данными согласно существующему законодательству (это особенно актуально для медицины). В таких случаях возможно применение метода так называемого федеративного (распределённого машинного) обучения, позволяющего обучать модели на нескольких устройствах без обмена образцами данных. Федеративное обучение делится на горизонтальное (например, необходимость анализа ЭКГ большой группы людей) и вертикальное, с учётом разных сфер социальной активности одного и того же человека (медицина, финансы и др.). Ещё одна задача – упрощение коммуникаций, поскольку они могут занимать до 95% времени обучения ИИ. Её можно решить несколькими способами, в том числе сжатием посылок, пропуском раундов общения, временным упрощением модели и разделением её на составляющие, что позволяет кратко уменьшить коммуникационные затраты и время обучения.

В федеративном обучении существуют две основные проблемы: жёсткие требования к стоимости коммуникаций (то есть к объёму передаваемых данных) и конфиденциальности информации. В их решении, а также для оптимальной квантизации сигналов широко используются результаты из многомерной геометрии, полученные в 1970-х годах академиком РАН Б.С. Кашиным. Продемонстрировали свою эффективность и так называемые жадные алгоритмы [24]. В Исследовательском центре доверенного ИИ ИСП РАН актуальные задачи федеративного обучения решает коллектив под руководством доктора физико-математических наук А.В. Гасникова [25–27]. Полученные результаты позволяют снизить коммуникационные затраты максимум в 15 раз, а процесс обучения сократить в 5 раз [28, 29].

Важна также задача, касающаяся совершенствования технологий маркирования контента цифровыми водяными знаками. Она актуальна как для контента, созданного человеком (в целях защиты авторских прав и отслеживания распространения интеллектуального продукта) [30], так и для синтезированного (обнаружение сгенерированного текста [31], дипфейков в аудио- и видеопотоках и изображениях [32]), а также для глубоких нейронных сетей, защиты от анонимной кражи обучающих наборов данных и обученных моделей [33–35]). В США уже готовится законодательная база, обязывающая маркировать ИИ-контент водяными знаками. Вероятнее всего по этому пути пойдут и

другие страны, в том числе Россия, поэтому столь актуально развитие соответствующих отечественных технологий.

Необходимо отметить, что разработка даже очень качественных технологий доверенного ИИ далеко не гарантирует обеспечение технологической независимости и долгосрочного устойчивого развития в этой области. Нужны модели совместной работы, которые в условиях коллаборативной экономики способствуют кратному увеличению производительности труда. Целесообразно сформировать экосистему, которая позволит отдельным компаниям перейти от конкуренции к кооперации, совместно создавать и контролировать репозиторий доверенного программного обеспечения. Такая модель работы, представленная на рисунке 6, уже используется ИСП РАН и партнёрами в Центре доверенного системного ПО. Вокруг него сформирован консорциум; более 50 компаний (Лаборатория Касперского, Postgres Professional и др.) и вузов (МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЧГУ и др.) совместно ведут исследования по повышению безопасности ОС Linux и системных компонентов (например, OpenSSL, QEMU, libvirt). Около 300 исправлений уже признаны международным сообществом и внесены в основные ветки проектов.

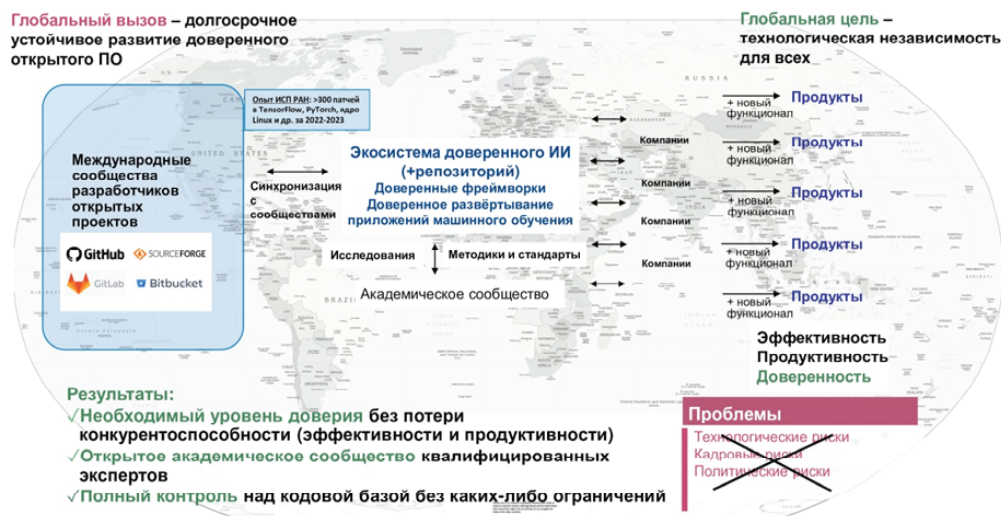


Рис. 6. Пример глобальной модели долгосрочного развития

Реализация данной модели работы показала, что Академия наук является ключевой структурой, которая может формировать такие сообщества, объединяя государство, бизнес и научные институты. Создание репозитория доверенных решений было поддержано на стратегической сессии «Развитие искусственного интеллекта» под председательством главы Правительства Российской Федерации М.В. Мишустина в сентябре 2023 г.

В настоящее время существующую экосистему необходимо масштабировать в целях создания технологий доверенного ИИ. Для этого целесообразно:

- развернуть комплексную научно-техническую программу в целях поиска перспективных подходов к обеспечению кибербезопасности, создания интеллекту-

альных технологий и инструментальных средств, обеспечивающих минимизацию угроз безопасности, связанных с ошибками, включая новые виды уязвимостей и рисков, которые характерны для технологий ИИ;

- определить, что важным механизмом реализации указанной программы служит создание репозитория доверенных средств ИИ и инструментов обеспечения доверия;

- развивать нормативное регулирование ИИ в Российской Федерации, которое в зависимости от применения предусматривает как возможности саморегулирования, так и обязательную государственную сертификацию на основе высокотехнологичных программных средств;

- расширить подготовку специалистов высшей квалификации по специальности «Кибербезопасность».

Подготовка высококвалифицированных профильных специалистов, создание нормативной базы и репозитория доверенного ПО, а также разработка новых подходов и инструментов обеспечения доверия к ИИ будут способствовать достижению технологической независимости нашей страны, обеспечению её безопасного будущего.

Литература

1. Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2020, with forecasts from 2021 to 2025. <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>

2. ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования».

GOST R 56939-2016 “Information protection. Secure software development. General requirements”. <https://docs.cntd.ru/document/1200135525>

3. Regulation (EU) 2019/881 of the European Parliament and of the Council on ENISA (the European Union Agency for Cybersecurity) and on information and communications technology cybersecurity certification and repealing Regulation (EU) No 526/2013 (Cybersecurity Act). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/881/oj>

4. Постановление президиума Российской академии наук «О мерах по развитию системного программирования как ключевого направления противодействия киберугрозам».

Act of The Presidium of RAS. On supporting development of system programming as a key direction for countering cyberthreats. <https://www.ras.ru/presidium/documents/directions.aspx?ID=1f5522e9-ff25-4af0-a49a-6a5675525597>

5. Приказ Минобрнауки России № 118 от 24 февраля 2021 года.

Order of the Ministry of Science and Education of Russian. 118 dated February 24, 2021. <https://vak.minobrnauki.gov.ru/uploader/loader?type=1&name=91506173002&f=792>

6. Zhang Y., Nauman U. Deep Learning Trends Driven by Temes: A Philosophical Perspective // IEEE Access. January 2020. V. 8. P. 96587–196599. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3032143>

7. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сло-

жения // Докл. АН СССР. 1957. Т. 114. № 5. С. 953–956. Kolmogorov A.N. On the representation of continuous functions of many variables by superposition of continuous functions of one variable and addition // Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1957. V. 114. № 5. P. 953–956. (In Russ.)

8. Tychonoff A. Ein Fixpunktsatz // Mathematische Annalen. 1935. V. 111. P. 767–776. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01472256>

9. Insight – Amazon scraps secret AI recruiting toll that showed bias against women. <https://www.reuters.com/article/idUSKCN1MK0AG/>

10. Cruise robotaxi service hid severity of accident, California officials claim. <https://www.theguardian.com/business/2023/dec/04/california-cruise-robotaxi-san-francisco-accident-severity>

11. Mushroom pickers urged to avoid foraging books on Amazon that appear to be written by AI. <https://www.theguardian.com/technology/2023/sep/01/mushroom-pickers-urged-to-avoid-foraging-books-on-amazon-that-appear-to-be-written-by-ai>

12. Blueprint for an AI Bill of Rights. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/Blueprint-for-an-AI-Bill-of-Rights.pdf>

13. Executive Order on the Safe, Secure, and Trustworthy Development and Use of Artificial Intelligence. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2023/10/30/executive-order-on-the-safe-secure-and-trustworthy-development-and-use-of-artificial-intelligence/>

14. White Paper on Artificial Intelligence: a European approach to excellence and trust. https://commission.europa.eu/publications/white-paper-artificial-intelligence-european-approach-excellence-and-trust_en

15. EU AI Act. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS_BRI\(2021\)698792_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698792/EPRS_BRI(2021)698792_EN.pdf)

16. Hiroshima Process International Code of Conduct for Advanced AI Systems. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/hiroshima-process-international-code-conduct-advanced-ai-systems>

17. Указ Президента Российской Федерации «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года.

Decree of the President of Russia “On developing artificial intelligence in Russia”, National strategy of developing artificial intelligence for the period until 2030. <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/АН4х6HgKWANwVtMOfPDhcbRpvdlH-CCsv.pdf>

18. Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта.

Ethics Codex on Artificial Intelligence. https://ethics.a-ai.ru/assets/ethics_files/2023/05/12/Кодекс_этики_20_10_1.pdf

19. ГОСТ Р 59921.2-2021 «Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Часть 2. Программа и методика технических испытаний».

GOST R 59921.2-2021 “Artificial Intelligence Systems in Clinical Medicine. Part 2. Program and methodology of technical validation”. <https://docs.cntd.ru/document/1200181991>

20. Gu T., Dolan-Gavitt B., Garg S. BadNets: Identifying Vulnerabilities in the Machine Learning Model Supply Chain. <https://arxiv.org/abs/1708.06733>

21. Shafahi A., Huang W., Najibi M. et al. Poison Frogs! Targeted Clean-Label Poisoning Attacks on Neural Networks. <https://arxiv.org/abs/1804.00792v2>
22. Liu K., Dolan-Gavitt B., Garg S. Fine-Pruning: Defending Against Backdoor-ing Attacks on Deep Neural Networks. <https://arxiv.org/abs/1805.12185>
23. Bao Gia Doan, Abbasnejad E., Ranasinghe D.C. Februus: Input Purification Defense Against Trojan Attacks on Deep Neural Network Systems. <https://arxiv.org/abs/1908.03369>
24. Temlyakov V. Greedy Approximation. Cambridge University Press, 2011.
25. Beznosikov A., Horváth S., Richtárik P., Safaryan M. On biased compression for distributed learning // Journal of Machine Learning Research. 2023. V. 24(276). P. 1–50.
26. Gorbunov E., Rogozin A., Beznosikov A. et al. Recent theoretical advances in decentralized distributed convex optimization // High-Dimensional Optimization and Probability: With a View Towards Data Science. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 253–325.
27. Metevlev D., Rogozin A., Kovalev D., Gasnikov A. Is consensus acceleration possible in decentralized optimization over slowly time-varying networks? // International Conference on Machine Learning, 2023. PMLR. P. 24532–24554.
28. Beznosikov A. et al. Distributed methods with compressed communication for solving variational inequalities, with theoretical guarantees // Advances in Neural Information Processing Systems. 2022. V. 35. P. 14013–14029.
29. Beznosikov A., Gasnikov A. Similarity, Compression and Local Steps: Three Pillars of Efficient Communications for Distributed Variational Inequalities. <https://arxiv.org/abs/2302.07615v1>
30. Yakushev A., Markin Yu., Obydenkov D. et al. Docmarking: Real-Time Screen-Cam Robust Document Image Watermarking // 2022 Ivannikov Ispras Open Conference (ISPRAS), IEEE. P. 142–150.
31. Sankar Sadasivan V., Kumar A., Balasubramanian S. et al. Can AI-Generated Text be Reliably Detected? <https://arxiv.org/pdf/2303.11156.pdf>
32. Yu N., Skripniuk V., Abdelnabi S., Fritz M. Artificial Fingerprinting for Generative Models: Rooting Deepfake Attribution in Training Data. https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2021/papers/Yu_Artificial_Fingerprinting_for_Generative_Models_Rooting_Deepfake_Attribution_in_Training_ICCV_2021_paper.pdf
33. Adi Y., Baum C., Cisse M. et al. Turning Your Weakness Into a Strength: Watermarking Deep Neural Networks by Backdooring. Proceedings of the 27th USENIX Security Symposium. August 15–17, 2018. Baltimore, MD, USA. P. 1615–1631.
34. Lia Y., Wangb H., Barni M. A survey of deep neural network watermarking techniques. <https://arxiv.org/pdf/2103.09274.pdf>
35. Li Y., Zhang Z., Bai J. et al. Open-sourced Dataset Protection via Backdoor Watermarking. <https://arxiv.org/abs/2010.05821>

ДОКЛАД АКАДЕМИКА РАН Н.А. ТЕСТОЕДОВА «РОССИЙСКАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА И ЕЁ ПЕРСПЕКТИВЫ»

Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) создавалась и развивается усилиями большого коллектива учёных Российской академии наук и специалистов предприятий промышленности, научно-исследовательских институтов госкорпорации "Роскосмос", Министерства обороны Российской Федерации. В ней реализованы самые передовые технологии мирового уровня. С учётом масштабов и эффективности результатов функционирования, позитивного влияния на разные сферы её без преувеличения можно отнести к национальному достоянию Российской Федерации.

Основное назначение системы, полностью развёрнутой в 1995 г., – решение задач обеспечения обороны и безопасности страны. С 1999 г. указом Президента Российской Федерации ГЛОНАСС получила статус двойного назначения. С 2007 г. гражданские услуги системы предоставляются потребителям всего мира на безвозмездной основе [1].

Гражданские услуги ГЛОНАСС, совместно с другими глобальными навигационными спутниковыми системами, массово внедрены в навигационные устройства всех российских и практически всех зарубежных производителей навигационного оборудования и используются на транспорте, в системах передачи данных, в электросетях, при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. Особое значение приобретает применение ГЛОНАСС в совершенствовании навигации по Северному морскому пути, разработке месторождений на шельфе в открытом морском пространстве. Спутниковые навигационные технологии значительно повышают эффективность фундаментальных научных исследований в геодинاميке, гравиметрии, сейсмике, изучении поведения ионосферы и тропосферы Земли. (ГЛОНАСС начала применяться для решения этих научных задач с начала 1990-х годов, ещё до своего полного развёртывания.)

В свою очередь, создание и развитие космической навигационной системы невозможно без участия академических организаций. Без точного определения параметров вращения и ориентации Земли, уточнения моделей её гравитационного поля, учёта поправок, базирующихся на общей и частной теории относительности, невозможно обеспечить корректный расчёт орбиты спутников.

Существующая орбитальная группировка космического комплекса ГЛОНАСС состоит из 24 спутников на средней круговой орбите высотой 19 100 км и включает в себя три модификации навигационных спутников "Глонасс" (запуски первых

из них были осуществлены в 2003, 2011 и 2023 гг.) Эти многофункциональные космические аппараты обеспечивают, помимо излучения навигационного сигнала, реализацию ряда других задач (рис. 1).

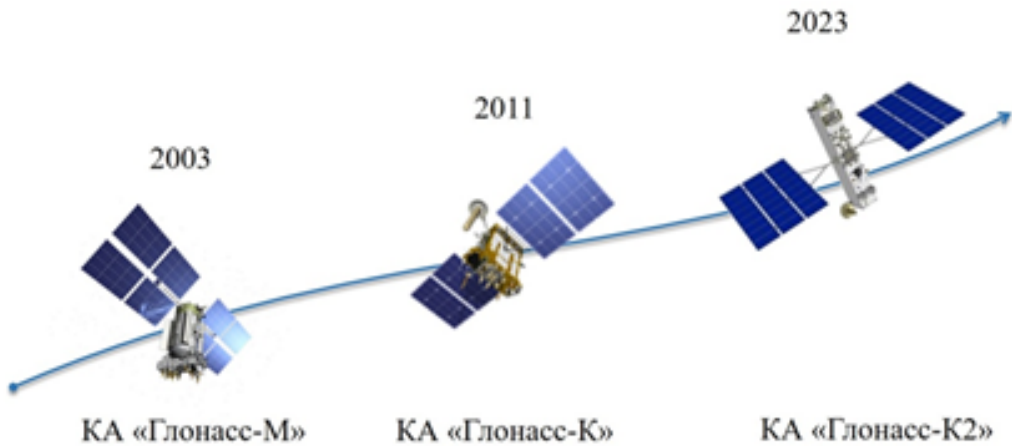


Рис. 1. Действующая орбитальная группировка космического комплекса ГЛОНАСС

Принцип космической навигации – решение триангуляционной¹ задачи относительно известного положения навигационных космических аппаратов в количестве не менее четырёх [2]. Навигационная аппаратура потребителей рассчитывает расстояния до спутников путём умножения скорости света на разницу времени излучения навигационного сигнала со спутника и времени его приёма.

При кажущейся простоте решаемой задачи следует учесть, что спутники "Глонасс" летят на высоте 19 100 км со скоростью почти 4 км/сек и точность знаний о положении спутника должна быть одного уровня с требованиями к точности навигации потребителя. Поэтому ГЛОНАСС – это сложная система технических и программных средств, включающая в себя подсистемы научного фундаментального обеспечения, космический комплекс, потребительские сегменты как гражданские, так и спецпотребителей, функциональные дополнения, повышающие потребительские характеристики (рис. 2). Географически система разнесена по всему миру, включая четыре измерительные станции в Антарктиде.

Космическая радионавигация имеет достаточно много параметров, но если рассматривать их с позиций потребителя, то ключевые из них – точность местопределения, доступность в любой точке Земли, целостность, заключающаяся в подтверждении достоверности сигналов, и помехозащищённость [3].

¹Триангуляция – геодезическое построение на местности системы пунктов, образующих треугольники, у которых измеряются все углы и длины некоторых базовых сторон.



Рис. 2. Построение системы ГЛОНАСС

Почему радионавигация вне зависимости от системы (российская ГЛОНАСС, североамериканская GPS, европейская Galileo, китайская BeiDou) не абсолютно точна? В соответствии с законами Кеплера [3] траектория движения небесных тел в центральном поле тяготения в отсутствие внешних воздействий рассчитывается точно. Но в реальных условиях на космический аппарат, вращающийся вокруг Земли, действуют разнообразные внешние силы, вносящие погрешности в определение псевдодальности². Такая погрешность определяется как сумма частных погрешностей, которые объясняются влиянием ионосферы, тропосферы, многолучёвости распространения сигнала, релятивистских и гравитационных эффектов. В этом же перечне и погрешности, вносимые бортовой аппаратурой спутника и наземной аппаратурой потребителя (рис. 3) [2].

Отдельно выделена погрешность, объясняемая разницей шкал времени спутника и аппаратуры потребителя, так как шкала времени спутника корректируется при каждой закладке обновляемого навигационного сообщения (для спутников "Глонасс" – один раз за виток, то есть каждые 12 часов). Описанные виды погрешностей вносят разные значения в суммарную погрешность, указанную на рисунке 3. Здесь же видно, что в результате мероприятий по повышению характеристик спутников, средств наземного комплекса управления, методик и программного обеспечения расчётов эфемерно-временной информации погрешность местопредопределения потребителя за 10 лет снижена в 2 раза.

²Псевдодальность – это расстояние между спутником и навигационной аппаратурой потребителя, включающее в себя помимо собственно дальности погрешность из-за разности времени в часах спутника и аппаратуры потребителя.

$$\delta\check{D} = \delta t_{\text{ион}}c + \delta t_{\text{троп}}c + \delta t_{\text{млр}}c + \delta t_{\text{ргэ}}c + \delta t_{\text{пр}}c + \delta t_{\text{ап}}c + \varepsilon_{\check{D}} + \delta t_{\text{бшв}}c$$

- $\delta t_{\text{ион}}c$ – ионосферная погрешность;
- $\delta t_{\text{троп}}c$ – тропосферная погрешность;
- $\delta t_{\text{млр}}c$ – погрешность многолучевого распространения;
- $\delta t_{\text{ргэ}}c$ – погрешность от релятивистских и гравитационных эффектов;
- $\delta t_{\text{пр}}c$ – погрешность, вносимая навигационным приёмником;
- $\delta t_{\text{ап}}c$ – погрешность, создаваемая бортовой аппаратурой;
- $\varepsilon_{\check{D}}$ – прочие погрешности;
- $\delta t_{\text{бшв}}c$ – погрешность бортовой шкалы времени.

Изменение бюджета погрешности определения псевдодальности

Источник погрешности	$\sigma_{\delta_{\text{длм}}}$	
	2009 г	2019 г
Часы спутника	2.0	0.7
Ионосфера	4.0	2,0
Тропосфера	0.5	0.2
Многолучево́сть	2.5	1.5
Приёмник	1.5	0.5
Прочие	2.0	1.0
Суммарная погрешность	5.7	2.8

Рис. 3. Погрешность определения псевдодальности

Точность навигационных систем неразрывно связана с характеристикой доступности, то есть возможностью непрерывного наблюдения такого количества спутников, которое достаточно для решения навигационной задачи. При наличии полного состава орбитальной группировки ГЛОНАСС количество спутников в зоне видимости потребителя составляет в среднем 6–10 аппаратов в зависимости от расположения потребителя на поверхности земного шара. При этом доступность достигает 99.99% (по сути, это время, когда потребитель с вероятностью 95% без дополнительных корректирующих систем определяет своё положение).

Точность системы ГЛОНАСС в первую очередь определяется точностью космического комплекса, то есть точностью навигационного сигнала, излучаемого космическим аппаратом. Восстановление в период с 2003 г. по 2011 г. полной орбитальной группировки (24 спутника) повысило точность космического комплекса более чем в 10 раз, уменьшив погрешность определения псевдодальности с 15 м до 1.4 м. Дальнейшее уменьшение погрешности (в настоящее время она составляет 1.2 м) достигается значительно медленнее, его удаётся добиться благодаря улучшению характеристик бортовой аппаратуры и созданию новых технологий управления.

Основной вклад в повышение степени точности создаваемого радионавигационного поля может внести обеспечение более высокой стабильности бортового синхронизирующего устройства, проще говоря, бортовых часов спутника. Переход от атомных стандартов частоты на основе цезия к водородным снижает нестабильность на суточном интервале в 20 раз – с 1×10^{-13} до 5×10^{-15} . Соответственно, в этой же степени уменьшается погрешность навигации от расхождения шкал бортовых часов спутника и наземного эталона в общем бюджете погрешностей. Наземный эталон имеет суточную нестабильность 1×10^{-16} , однако результаты работ под руководством научного руководителя Института лазерной физики СО РАН академика РАН С.Н. Багаева показывают, что нестабильность эталона можно снизить до 1×10^{-18} .

Размещение измерительных станций радиоконтроля орбит спутников России на территории Никарагуа, Бразилии, ЮАР и в Антарктиде повышает точность расчёта эфемерид, передаваемых далее с наземных станций на спутники. Повышение частоты обновления информации на спутнике уменьшает продолжительность расхождения бортовой шкалы времени спутника и наземного эталона. В условиях отсутствия наземных станций закладки информации на спутники вне территории России эффективной альтернативой становится передача эфемеридно-временной информации через разрабатываемые в настоящее время межспутниковые линии связи. При этом периоды между обновлением эфемеридно-временной информации на спутнике можно уменьшить с 12 часов в настоящее время до 1 часа, пропорционально уменьшится погрешность от расхождения шкал времени спутника и наземного эталона.

Использование системы ГЛОНАСС в стандартном режиме удовлетворяет требования широкого круга потребителей. В то же время для ряда приложений (например, заход на посадку воздушных судов по категориям Международной организации гражданской авиации (ИКАО), маневрирование морских судов в "узкостях", решение топогеодезических и других задач) необходима более высокая точность навигационно-временного обеспечения. Она достижима при использовании специальных режимов работы ГЛОНАСС, одним из которых служит так называемый дифференциальный режим (рис. 4). Принцип его организации состоит в использовании двух приёмников сигнала, один из которых (опорная измерительная станция), как правило, неподвижен и расположен в точке с известными координатами, а другой (навигационная аппаратура потребителя) может находиться в движении.

Если приёмники располагаются близко друг к другу, то измеренные от одних и тех же навигационных спутников псевдодальности будут содержать одни и те же значения медленно меняющихся погрешностей измерений (ионосферной, тропосферной, релятивистской и других). Поскольку координаты опорной измерительной станции известны точно, то, сравнивая их с координатами, вычисленными измерительной станцией при приёме навигационного сигнала со спутника, можно определить величины систематических ошибок, называемых дифференциальными поправками. Передавая эти поправки по любой линии связи, реально проводить коррекцию координат потребителя.

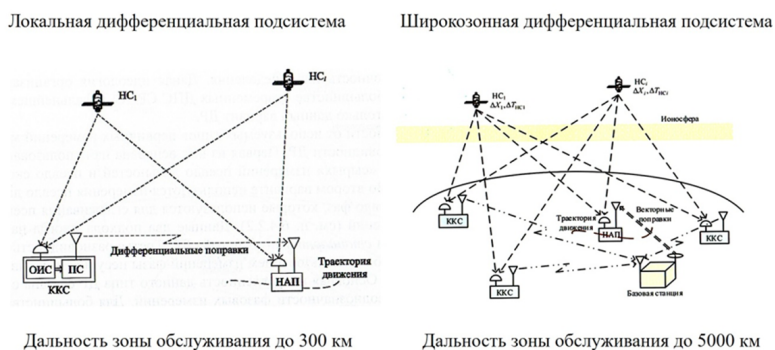


Рис. 4. Принцип организации дифференциального режима

На практике использование сигналов с одних и тех же навигационных спутников крайне затруднительно (при работе в совмещённых орбитальных группировках в зоне видимости потребителя до 30 космических аппаратов), поэтому корректирующие поправки рассчитываются по всей совокупности видимых спутников, а аппаратура потребителя выбирает любое созвездие из четырёх космических аппаратов для навигации.

При одной контрольно-корректирующей станции дифференциальных поправок дифференциальная подсистема называется локальной (дальность зоны обслуживания до 300 км). С увеличением количества контрольно-корректирующих станций зона обслуживания увеличивается, в пределе становясь широкозонной с дальностью обслуживания до 5000 км [3, 4]. В этом случае дифференциальные поправки обычно передаются спутниками связи.

Существующая российская дифференциальная подсистема повышает точность навигации по сравнению с навигационной базовой услугой примерно в 2 раза. В перспективе планируется создать отечественную дифференциальную коррекцию и мониторинг с параметрами, удовлетворяющими требованиям ИКАО для навигации самолётов гражданской авиации при посадке на необорудованные аэродромы: информация с задержкой не более 6 с; точность на уровне 0.5 м с гарантией целостности навигационного поля. С учётом территории Российской Федерации в состав такой системы должны входить около 50 станций измерений и мониторинга.

Следующий этап в повышении точности навигации – создание системы высокоточного позиционирования, по аналогии с создаваемыми в мире. Принцип её работы: за счёт увеличения разрядности навигационного сигнала и специальных алгоритмов обработки система производит расчёт и передачу потребителю в реальном времени корректирующей информации, использование которой одновременно с приёмом базовых сигналов ГЛОНАСС обеспечивает высокоточные навигационные определения [3]. Проведённые испытания показали, что высокоточная навигация, базирующаяся на системах GPS (США) и ГЛОНАСС, имеет практически одну и ту же точность.

Состояние космических аппаратов в действующей орбитальной группировке характеризуется фактическим сроком их активного существования относительно гарантийных сроков, составляющих 7 и 10 лет в зависимости от модификации спутников. Спутники работают надёжно, некоторые превысили гарантийный срок более чем в 2 раза. Тем не менее прогноз остаточного срока их активной работы убеждает в необходимости плановой замены 6 космических аппаратов в течение 1–2 лет. Соответствующая программа замены спутников до 2033 г. госкорпорацией "Роскосмос" подготовлена и реализуется.

Общая проблема производства любой сложной техники, в том числе спутников "Глонасс", – ограничения поставок электронно-компонентной базы из-за рубежа. До 2014 г., когда были введены первые санкционные ограничения, доля импортной электронно-компонентной базы в производстве навигационных спутников доходила до 42% (три модификации аппаратов с таким оснащением входят в состав действующей орбитальной группировки). Меры импортозамещения, предпринятые госкорпорацией "Роскосмос" за последние 10 лет, обеспечат к 2030 г. переход в два этапа на стопроцентную электронно-компонентную базу отечественного производства.

Развитие орбитальной группировки системы ГЛОНАСС предполагает разработку и реализацию нескольких научно-технических направлений (рис. 5).

1. Запуск с 2025 г. модернизированных спутников "Глонасс-К2" в импортозамещаемом варианте с набором всех разработанных ранее дополнительных к навигации задач.

2. Многофункциональные аппараты будут производиться и далее, модифицируясь, например, по составу навигационных сигналов и обеспечению региональных зон с повышенной (до 20 дБ) мощностью навигационного сигнала.

3. Для оперативного поддержания навигационного поля разрабатываются мононавигационные космические аппараты – малые (около 0.5 т) спутники с возможностью группового запуска, обеспечивающие излучение только навигационного сигнала.

4. Система высокоорбитальных космических аппаратов (6 спутников на трёх геосинхронных орбитах) повысит доступность навигационного сигнала в условиях городов и сложных рельефов на территории России, обеспечит излучение корректирующей информации для высокоточной навигации [5].

5. Прорабатывается вопрос создания многоспутниковой (до 300 аппаратов) низкоорбитальной (от 500 до 1500 км) навигационно-связной системы, которая в дополнение к существующей орбитальной группировке обеспечит ряд дополнительных свойств для улучшения навигации, в том числе увеличение мощности сигнала от 200 до более чем в 1000 раз, в зависимости от высоты орбиты системы; возможность передачи навигационного сигнала в связных диапазонах; более быстрое обновление информации на спутниках, так как период обращения низкоорбитальных аппаратов в несколько раз меньше.

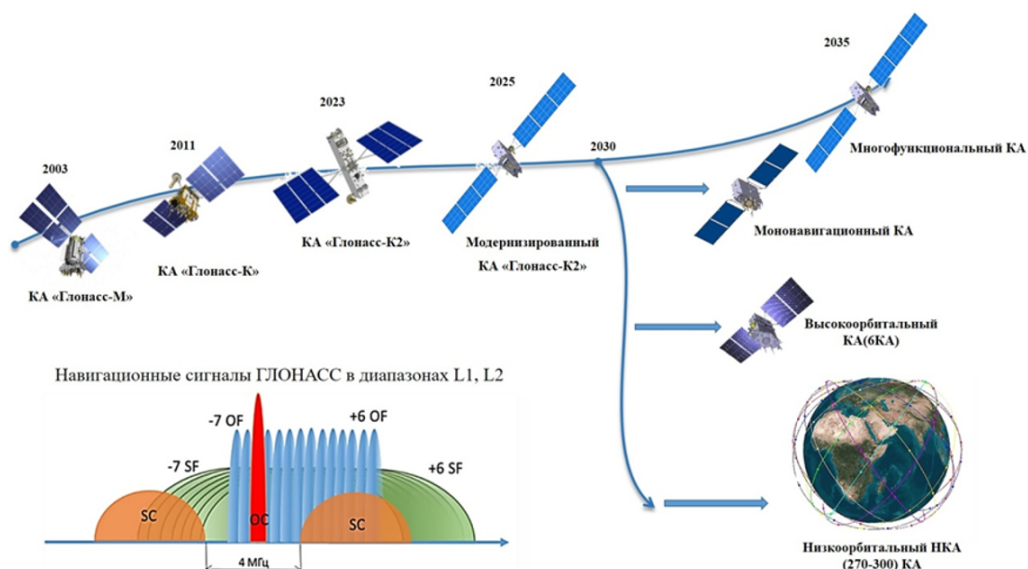


Рис. 5. Развитие орбитальной группировки космического комплекса системы ГЛОНАСС

Продолжается разработка новых навигационных сигналов для всех создаваемых аппаратов – как гражданских, так и специального назначения.

Самим своим появлением космические радионавигационные системы совершили революцию в методах навигации. Кардинальные изменения стали возможны благодаря уникальному сочетанию характеристик этих систем: метровой (в дальнейшем дециметровой) точности определения координат, глобальной доступности информации в любой точке земной поверхности в любое время и в любых метеоусловиях, компактности и низкой стоимости аппаратуры потребителей. Однако все современные спутниковые системы навигации обладают ограниченной помехоустойчивостью, в то время как для критически важных применений необходимы помехозащищённые навигационные средства, дополняющие или замещающие космические радионавигационные [6].

В перечень дополняющих средств входят: кодирование сигналов в защищённых каналах спутниковой навигации (например, гражданский код C/A системы GPS обеспечивает уверенный приём информации при превышении уровня помехи над навигационным сигналом в 250 раз, а использование кода P(Y) – до 2 500 раз); создание наземных радиосистем для локальной навигации; создание низкоорбитальной системы спутниковой навигации, обеспечивающей повышение мощности навигационного сигнала на три порядка.



Рис. 6. Системы автономной навигации

Замещающие средства, представленные на рисунке 6, объединяют инерциальные навигационные системы (на базе гироскопов и акселерометров) – для замещения длительностью до одного часа спутниковой навигации вследствие дрейфа характеристик гироскопов; корреляционно-экстремальные системы для измерений параметров гравитационного или магнитного полей Земли (это системы глобального действия, но их точность измеряется сотнями метров при весе аппаратуры, на два порядка превышающем вес радионавигационных систем). С учётом этих особенностей в настоящее время для критически важных применений используются интегрированные инерциально-спутниковые системы, в которых совмещены приёмник спутникового навигационного сигнала и инерциальная на-

вигационная система. При наличии спутникового сигнала его приёмником производится оценивание погрешности инерциальной навигационной системой и их компенсация в выходных данных. При пропадании спутникового сигнала происходит экстраполяция погрешностей инерциальной навигационной системы, что обеспечивает приемлемую точность продолжительностью до часа. Современные автономные инерциальные и интегрированные инерциально-спутниковые системы разработаны и внедрены в практику под руководством научного руководителя концерна «ЦНИИ "Электроприбор"» академика РАН В.Г. Пешехонова.

Здесь следует напомнить, что космическая деятельность отдельных стран регулируется международным законодательством и соответствующими структурами. В состав основных международных организаций, связанных с координатно-временным и навигационным обеспечением, входят: Международное бюро мер и весов, Международные службы глобальных навигационных систем, Международная ассоциация геодезии, Международная служба лазерной дальнометрии, Международная служба радиоинтерферометрии для геодезии и астрометрии, Международная служба вращения Земли. Необходимо учитывать, что все эти службы проводят (или могут начать проводить) дискриминационную политику в отношении Российской Федерации с соответствующими рисками для отечественных организаций, осуществляющих деятельность в области координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО).

По всем перечисленным направлениям КВНО страны БРИКС способны создать системы, производящие аналогичную номенклатуру продуктов, характеристики которых могут быть сопоставимы с данными международных служб (с учётом возможности решения текущих и перспективных задач). Таким образом, в целях гарантированного координатно-временного и навигационного обеспечения можно рекомендовать выдвинуть инициативу создания консорциума стран БРИКС для выполнения функций соответствующих международных организаций в рамках правового поля стран БРИКС и на международной арене.

В завершение следует отметить, что система ГЛОНАСС в качестве основы отечественного координатно-временного и навигационного обеспечения предполагается к использованию и в ближайшие десятилетия. Её поддержание и развитие – одна из важнейших научно-технических задач Российской академии наук и промышленности.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 17 мая 2007 года № 638 (ред. от 12.04.2019) "Об использовании глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Российской Федерации". <https://rulaws.ru/president/Ukaz-Prezidenta-RF-ot-17.05.2007-N-638/> (дата обращения 06.02.2024).

Decree of the President of the Russian Federation No. 638 of May 17, 2007 (as amended on April 12, 2019) "On Using the Global Navigation Satellite System (GLONASS) to Promote Social and Economic Development in the Russian Federation". <https://rulaws.ru/president/Ukaz-Prezidenta-RF-ot-17.05.2007-N-638/> (access date February 6, 2024).

2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. Изд. 4-е / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.

GLONASS. Principles of Construction and Operation. Perov A.I. and Kharisov V.N., Eds. Ed. 4th M: Radiotekhnika, 2010. (in Russ.)

3. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Монография / Под ред. А.И. Перова. М.: Радиотехника, 2020.

GLONASS. Modernization and Prospects of Development, Perov, A. I., Ed., M.: Radiotekhnika, 2020. (in Russ.)

4. Карутин С.Н., Власов Н.Б., Дворкин В.В. Дифференциальная коррекция и мониторинг глобальных навигационных спутниковых систем. М.: Изд-во МГУ, 2014.

Karutin S.N., Vlasov N.B., Dvorkin V.V. Differential Correction and Monitoring of Global Navigation Satellite Systems. M.: Izd. MGU, 2014 (in Russ.)

5. Владимиров В.М., Лапухин Е.Г., Борисов В.А. Влияние дополнительных группировок спутников на доступность навигационной системы ГЛОНАСС // Вестник воздушно-космической обороны. 2023. № 1(37). С. 32–46.

Vladimirov V.M., Lapukhin E.G., Borisov V.A. Effect of additional satellite constellations on the availability of the GLONASS navigation system // Vestnik VKO (Aerospace Defense Herald). 2023. V. 1. № 37. P. 32–46. (in Russ.)

6. Пешехонов В.Г. Высокоточная навигация без использования информации глобальных навигационных спутниковых систем // Гироскопия и навигация. 2022. Т. 30. № 1(116). С. 3–11.

Peshekhonov V.G. High-precision navigation independently of global navigation satellite systems data // Gyroscopy and Navigation. 2022. V. 13. P. 1–6.

ДОКЛАД АКАДЕМИКА РАН С.М. АЛДОШИНА «КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ – ОТ ПРОГНОЗА И ДОБЫЧИ РУД К ИЗВЛЕЧЕНИЮ МЕТАЛЛОВ И СОЗДАНИЮ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ»

Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов России. Наиболее актуальная на сегодня государственная задача – достижение технологического суверенитета России и локализация всех связанных технологических цепочек – не может быть решена без прочной опоры на отечественное минеральное сырьё. А значит, необходимо восстанавливать и развивать добывающие отрасли. В настоящее время промышленность России в значительной степени зависит от импортных поставок стратегических металлов, по отдельным позициям эта зависимость достигает 100%. Несмотря на это, многие отечественные месторождения стратегического минерального сырья, критически зависимо от импорта, не разрабатываются в связи с их низкой рентабельностью и отсутствием спроса на металлы.

Согласно государственному докладу «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году» и Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р), балансовые геологические запасы, то есть те, которые экономически выгодно разрабатывать, обеспечивают до 2035 г. потребности высокотехнологичной промышленности стратегическими металлами лишь семнадцати наименований (медь, никель, олово, вольфрам, молибден, тантал, ниобий, кобальт, скандий, германий, платиноиды, железо и др.). Достигнутые уровни добычи свинца, сурьмы, золота, серебра, цинка обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период менее 15 лет. К дефицитным даже при нынешних уровнях их потребления относится большая часть стратегических металлов, необходимых для высокотехнологичных наукоёмких производств, включая атомную промышленность, микроэлектронику, оборонную промышленность, авиационную, космическую отрасль, металлургию, машиностроение, автомобилестроение, «зелёную» энергетику, медицинское оборудование. Это уран, марганец, хром, титан, алюминий, цирконий, гафний, бериллий, литий, рений, редкие металлы и редкоземельные элементы (скандий, иттрий, лантан и лантаноиды, висмут, кадмий, галлий) [1–4].

В соответствии с пунктом 3а перечня поручений Президента Российской Федерации от 28 июня 2022 г. № Пр-1130, направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы, Научным советом РАН по материалам и наноматериалам и Межведомственным научным советом РАН по развитию минерально-сырьевой базы и её рациональному использованию выполнен комплексный анализ минерально-сырьевой базы (МСБ) России, который показал, что наша страна может полностью заместить импорт стратегического минерального сырья за счёт собственных ресурсов. Для этого необходима работа по всем этапам, включая поиск и разведку новых месторождений, в том числе на слабо изученных арктических территориях Сибири и Дальнего Востока, разработку новых прорывных технологий добычи, обогащения, извлечения и переработки минерального сырья, создание конкурентоспособного производства особо чистых редких металлов.

Эксперты РАН отмечают, что минерально-сырьевая база металлов России используется крайне неэффективно. Она сосредоточена главным образом в открытых более 30–50 лет назад уникальных и крупных месторождениях, для которых определены запасы и резервы, разработаны технологии добычи, обогащения и извлечения главных промышленных металлов. При этом достоверные сведения о запасах, закономерностях размещения и минералах-концентраторах таких редких рассеянных стратегических металлов и редкоземельных металлов (РЗМ), как индий, теллур, рений, гафний, скандий, селен, кадмий, галлий, германий, висмут, извлекаемых в качестве попутных или побочных компонентов, отсутствуют. Это приводит к тому, что редкие и рассеянные металлы не извлекаются при переработке, складируются в хвостохранилищах или экспортируются в продуктах обогащения – концентратах.

Особо следует отметить проблему использования комплексных руд редкоземельных металлов. Основные ресурсы РЗМ сосредоточены в апатит-нефелиновых рудах в Мурманской области [1, 2]. Добыча их составляет около 120 тыс. тонн в год, но извлечение не осуществляется [2]. Отсутствует как экономически рентабельная промышленная технология разделения РЗМ и получения продуктов, востребованных производством, так и спрос на металлы отечественной промышленностью. Большая часть коллективного концентрата карбонатов редкоземельных металлов, получаемого на Ловозёрском месторождении из лопарита ($(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Sr})(\text{Ce}, \text{Th})_2(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$) – главного минерала-концентратора РЗМ, экспортируется из-за отсутствия промышленных мощностей по их разделению. Не производится извлечение марганца, хрома, титана, необходимых для производства высококачественных сталей, как и рения, вольфрама и других металлов, используемых в производстве высококачественных жаропрочных сплавов. Из-за низкого качества сырья, несмотря на значительные ресурсы лития, бериллия и других редких металлов, добыча их не ведётся. Немало и других примеров столь нерационального использования минерально-сырьевой базы [3, 4].

В России рынок попутных металлов в сравнении с главными металлами незначителен. Это приводит к потерям стратегических металлов при переработке комплексных руд, и если не изменить требования к эксплуатации месторождений, то такое положение сохранится и в будущем. Как уже сказано, развитие мине-

рально-сырьевой базы стратегических металлов сдерживается отсутствием спроса внутри страны и преобладающим экспортом продуктов низкого передела [5].

Институты, находящиеся под научно-методическим руководством Российской академии наук, при выполнении программы фундаментальных исследований получили принципиально новые результаты, касающиеся закономерностей размещения крупных и уникальных месторождений стратегических металлов, присутствия редких и рассеянных элементов в минералах-концентраторах. На базе современных знаний разработаны геолого-генетические модели провинций и месторождений, развиваются геофизические методы поисков и разведки рудных месторождений, инновационная приборная база, новые системы добычи и обогащения руд, селективного извлечения металлов из комплексных руд и техногенных отходов. Однако эти результаты практически не используются прежде всего потому, что ведущие горнодобывающие компании обеспечены на ближайшие годы резервами и ресурсами, производят сырьё главным образом на экспорт и не заинтересованы в организации глубокой переработки руд. Это приводит к потерям рассеянных металлов, таких как рений, индий, галлий, германий и других, столь необходимых для развития высокотехнологичной промышленности. Несмотря на значительные ресурсы лития, используемого для производства аккумуляторов, в России этот металл до сих пор не добывается. Отсутствует и добыча бериллия.

Деятельность РАН по развитию минерально-сырьевой базы. В своём поручении от 28 июня 2022 г. № Пр-1130 Президент Российской Федерации поручил Правительству Российской Федерации с участием Российской академии наук и госкорпорации «Росатом» определить приоритеты развития минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых и подготовить предложения по разработке и реализации федеральной научно-технической программы, направленной на обеспечение комплексного сопровождения геологоразведочных работ, добычу и промышленную переработку твёрдых полезных ископаемых, а также ускоренное замещение импортных технологий и оборудования российскими аналогами. Реализация программы предполагает не только создание технологий от стадии прогноза и поисков месторождений до глубокой переработки высокотехнологичных видов сырья, но также разработку и запуск производства отечественного оборудования, подготовку кадров и, что не менее важно, формирование и развитие устойчивого поступательно растущего внутреннего спроса на получаемую продукцию высоких переделов.

Российская академия наук совместно с организациями Министерства науки и высшего образования и Министерства природных ресурсов и экологии России разработала концепцию программы, в которую включены основные мероприятия по развитию минерально-сырьевой базы страны, и представила её на рассмотрение в Правительство Российской Федерации. Достижение целевых ориентиров программы требует изменения принципов взаимодействия всех вовлечённых в процесс её реализации сторон – недропользователей, государства и общества в лице муниципалитетов и жителей территорий, на которых будут реализовываться проекты.

Президиум РАН 11 апреля 2023 г. провёл специальное заседание и принял постановление «О состоянии и перспективах развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации». Создан Межведомственный совет по минерально-сы-

рьеовой базе и её рациональному использованию, в Минобрнауки и Минприроды России направлены рекомендации, касающиеся создания консорциумов и центров для разработки отечественных и замещения импортных технологий и оборудования на всех этапах – от поиска до извлечения высокотехнологичных металлов. Основные направления работ были определены 19 ноября 2023 г. на стратегической совместной сессии Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и её рациональному использованию, бюро Отделения химии и наук о материалах и бюро Отделения наук о Земле РАН с участием представителей Росатома, Минпромторга, Минприроды, Минобрнауки России.

Основой для практической реализации поставленных задач служит «Перечень основных видов стратегического минерального сырья», утверждённый распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р. К стратегическому относится минеральное сырьё, которое отражает геополитические интересы страны, имеет особое значение для обеспечения её экономического развития, обороны и безопасности. Перечень такого сырья и материалов устанавливается Правительством Российской Федерации и может меняться в зависимости от военно-политических и экономических приоритетов государства, структуры материального производства и прогнозируемой обстановки, конъюнктуры мирового рынка, состояния внешнеэкономических связей и других обстоятельств.

В настоящее время перечень включает 61 позицию, в том числе: нефть, природный газ, калийные соли, бокситы, алмазы, графит, подземные воды, фосфаты (апатитовые руды), особо чистое кварцевое сырьё, плавиковый шпат, а также 51 химический элемент (все элементы – металлы). Российская академия наук рекомендует включить в перечень ещё шесть элементов: бор, мышьяк, селен, кадмий, теллур, висмут. Это необходимо для обеспечения стратегическими металлами всех высокотехнологичных производств.

ИМПОРТОЗАВИСИМЫЕ СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ВИДЫ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



Рис. 1. Дефицитные виды стратегического минерального сырья, определённые Минпромторгом и Минприроды России

Подавляющая часть дефицитных видов стратегического минерального сырья относится к группе редких и редкоземельных металлов. Минпромторг и Минприроды России составили список из 17 стратегических дефицитных видов минерального сырья. В него входят 12 видов сырья, которые либо имеются в России, либо их получение обеспечено надёжными каналами импорта (на рисунке 1 показаны синим цветом), и пять критически зависимых от импорта видов минерального сырья, которые в стране не добываются и импорт которых ненадежен (на рисунке 1 показаны красным цветом). Пять критически зависимых от импорта металлов: марганец, титан, литий, ниобий и редкоземельные элементы (РЗЭ) – европий, диспрозий, неодим, лютеций, празеодим, тербий, лантан, церий – играют наиболее важную роль в создании и функционировании производств перспективной высокотехнологичной продукции.

Проблемы поисков и разведки стратегических металлов. По резервам и ресурсам практически всех металлов Россия входит в первую десятку стран. Тем не менее основная часть необходимых металлов импортируется, и наоборот, основная часть добываемого вывозится в виде концентратов главных металлов, но также содержащих и другие высокотехнологичные металлы, необходимые для промышленности. Россия богата минеральными ресурсами, но большинство открытых месторождений расположено в труднодоступных районах с неразвитой инфраструктурой (рис. 2).



Рис. 2. Месторождения стратегических металлов Российской Федерации

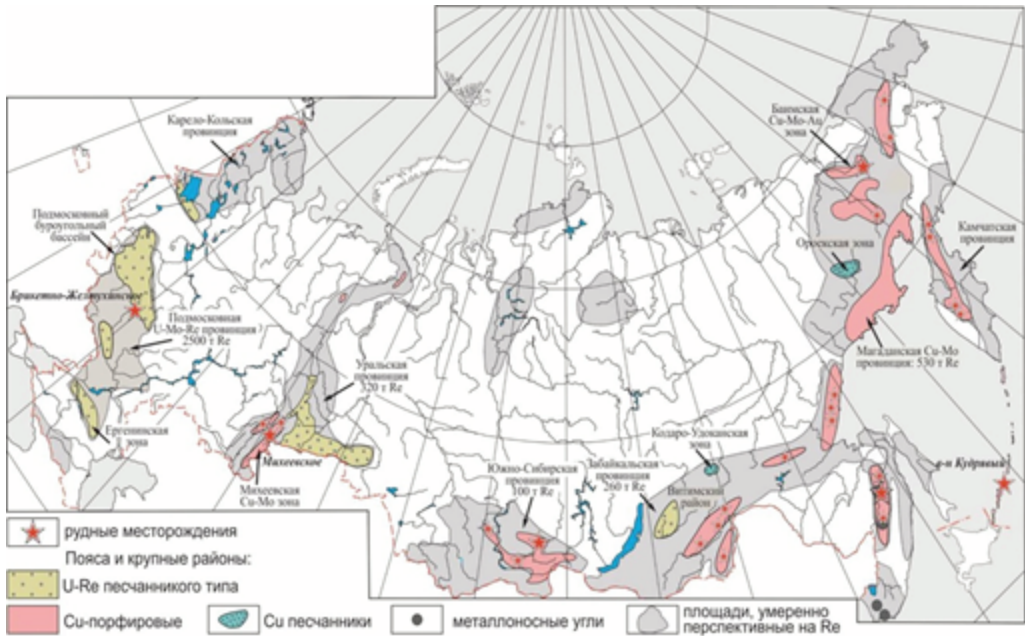
Одно из основных направлений фундаментальных исследований в области минерагении – поиск ответов на вопросы генезиса месторождений. Их цель – понять, какие из наблюдаемых геологических, петрологических, минералогических и геохимических характеристик отражают процессы, которые привели к образованию того или иного месторождения или металлогенических провинций. Выбор перспективной провинции – критический, наиболее ответственный шаг в стратегическом

планировании мероприятий, направленных на открытие новых месторождений. Здесь возможны большие риски и финансовые потери, если на прогнозных территориях не удастся выявить крупные месторождения полезных ископаемых.

В Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН впервые после 1978 г. дана оценка состояния минерально-сырьевой базы высокотехнологичных металлов страны. Выделены генетические типы их месторождений, включая нетрадиционные для России рудные провинции и узлы (рис. 3а). Открыта новая Восточно-Саянская редкометальная металлогеническая зона (Zr, Nb, Li, Be, REE), положение которой показано на рисунке 3 б.

Среди основных проблем, которые тормозят поиск, разведку и освоение месторождений, отметим следующие:

- сокращение и практическое исчерпание поискового задела по большинству стратегических видов полезных ископаемых;
- резкое сокращение государственного фонда рентабельных участков недр для их предоставления в пользование;
- новые открытия делаются в неосвоенных районах с неразвитой инфраструктурой;
- отсутствие научно обоснованных рекомендаций по концентрации имеющихся ресурсов на отдельных направлениях и территориях, здесь необходимо программно-целевое планирование;
- отсутствие необходимых организационно-финансовых условий для эффективной поисковой деятельности юниорных компаний.



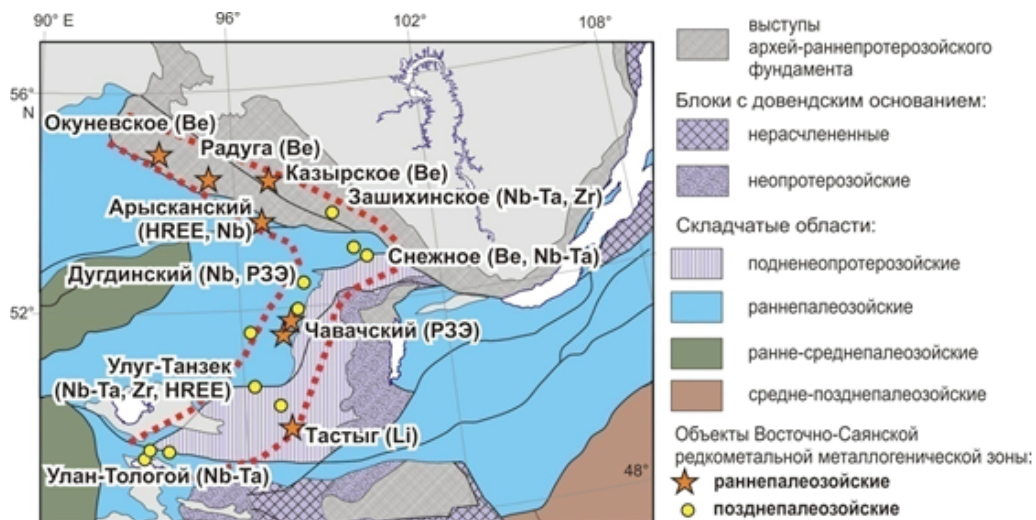


Рис. 3. Рудные провинции и зоны Российской Федерации

- а – карта генетических типов месторождений высокотехнологичных металлов, включая нетрадиционные для России рудные провинции и узлы;
 б – Восточно-Саянская редкометальная металлогеническая зона

РАН считает, что для преодоления перечисленных проблем необходимо существенно расширить геологоразведочные работы на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке, в том числе силами институтов, находящихся под научно-методическим руководством Академии наук. Необходимо уделить особое внимание развитию отечественной аппаратной базы для полевых и лабораторных исследований, созданию отечественного программного обеспечения по обработке и интерпретации геологических, геофизических и геохимических данных. Эта работа в настоящее время ведётся институтами РАН, отраслевыми институтами и частными компаниями, но всё перечисленное невозможно без целенаправленной государственной поддержки.

Проблемы добычи и обогащения. В настоящее время в России добыча рудоминерального сырья ведётся в более чем пятистах крупных карьерах и подземных рудниках, при этом на долю подземных горных работ приходится более 35%. Все крупные карьеры России и все без исключения подземные рудники относятся к объектам чрезвычайно высокого или высокого класса опасности.

Минерально-сырьевая база России претерпевает непрерывные изменения, при этом отмечаются следующие негативные тенденции.

- Вовлекаемые в эксплуатацию крупные рудные месторождения характеризуются низкосортными труднообогатимыми рудами, требующими изыскания новых способов их переработки.
- Возрастает число вовлекаемых в разработку маломасштабных месторождений, некоторые перспективные месторождения расположены в труднодоступных районах с неразвитой инфраструктурой и неблагоприятными природно-климатическими условиями.
- Проектная глубина горных работ увеличилась за последние 20 лет в среднем в 2 раза и достигла 1100 м на открытых горных работах. Глубина ведения подзем-

ных работ на железорудных месторождениях достигает 1000 м, на медноколчедановых и золоторудных – 1200 м, на медно-никелевых – более 2500 м.

- Непрерывно происходит накопление больших объёмов техногенных образований (более 100 млрд т), сопоставимых по качеству с запасами перспективных месторождений. Эти ресурсы должны быть оценены и рассматриваться в качестве составляющей минерально-сырьевой базы.

- В недрах остаётся значительная часть запасов, не извлекаемых по различным причинам [6, 7].

В Институте проблем комплексного освоения недр РАН, Горном институте Кольского научного центра РАН, Институте горного дела УрО РАН и Институте горного дела ДВО РАН ведутся комплексные научные исследования, направленные на разработку технологий селективной добычи и обогащения рудопотоков, создание отечественных аналогов технологий идентификации и сепарации руд; технологий переработки и утилизации хвостов обогащения; замкнутых схем обращения минерального вещества в недрах с выдачей на поверхность товарной продукции; дистанционно управляемых (роботизированных) экологически приемлемых технологий добычи [6].

Базовым объектом для удовлетворения существующих потребностей отечественной промышленности в тантале, ниобии и РЗМ сегодня выступает Ловозёрское месторождение. Промышленное освоение лопаритовых руд ведётся здесь с 1939 г. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации № 809-р в мае 2023 г. Ловозёрский ГОК передан Госкорпорации «Росатом» (предприятие расположено за полярным кругом в центральной части Кольского полуострова).

Проблема добычи редкоземельных металлов может быть решена путём организации их извлечения из апатитовых концентратов или отходов их переработки. Напомним, что 82% запасов TR_2O_3 России заключено в восьми месторождениях апатитовых руд Хибин (58%) и Селигдарского месторождения (24%). В ближайшей перспективе к ним добавится Катугинское месторождение, находящееся на стадии проектирования; вторым по очерёдности после завершения разведочной стадии может стать Зашихинское месторождение. По уровню разведанных запасов, прогнозных ресурсов и качеству руд перспективным для освоения представляется Томторское месторождение [8–10].

Значительные резервы таятся на рудных площадях, ранее выведенных из эксплуатации. Напомним, что уникальный рудник Умбозеро был затоплен после аварии в перестроечный период. Его расконсервация, что, конечно, представляет собой непростую задачу в плане безопасности горных работ, позволит существенно увеличить объём добычи редкоземельного сырья в достаточно короткие сроки по сравнению со строительством новых предприятий.

Как уже отмечалось, перспективы развития горнопромышленного комплекса России для обеспечения критическими металлами, в том числе редкоземельными, связаны с разработкой техногенных образований, которые слабо изучены с точки зрения добычи и глубокой переработки. Во многих случаях не ясна структура отвалов и распределение в них ценных компонентов, что затрудняет обеспечение перерабатывающих обогатительных и гидрометаллургических производств сырьём стабильного качества.

В настоящее время особое внимание следует уделить техногенным образованиям со складированным эвдиалитовым сырьём. Это потребует научно обоснованной оценки таких массивов и изыскания подходов к их безопасной отработке. В отличие от лопарита, который содержит РЗЭ лёгкой группы, эвдиалит, который до настоящего времени не перерабатывается, содержит тяжёлые РЗЭ – самарий, тербий, гадолиний, диспрозий, эрбий. Поэтому эвдиалитовый концентрат, в отличие от лопаритового, нельзя перерабатывать на единственном в стране Соликамском магниевом заводе. Если будут приняты соответствующие решения, нужно строить отдельное гидromеталлургическое предприятие, которое должно предъявлять необходимые требования к качеству добываемого природного и техногенного сырья; в соответствии с ними должны разрабатываться горные технологии добычи такого сырья.

Перспективы повышения производительности действующих рудников во многом связаны с созданием в нашей в стране собственного уникального оборудования, не уступающего лучшим мировым образцам. Вопрос технического обеспечения технологий горных работ для нашей страны наиболее сложен с точки зрения достижения технологического суверенитета. В России практически не производятся техника для добычи полезных ископаемых подземным способом, аппаратно-программные комплексы управления горнотехническими системами. Более того, в вузах прекращён выпуск специалистов, способных разрабатывать горные машины в соответствии с вышеотмеченными особенностями развития минерально-сырьевой базы. Отсутствуют конструкторские бюро и заводы, способные в короткие сроки восполнить пробелы в отечественном горном машиностроении. Необходимо в кратчайшие сроки совместно с соответствующими отделениями РАН и заинтересованными сторонами начать процесс возрождения российского горного машиностроения, автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами горного производства. Это требование относится и к оборудованию для работы в стеснённых условиях: в нашей стране не производятся погрузочно-доставочные машины с небольшой ёмкостью ковша, оборудование для крепления кровли, системы непрерывного конвейерного транспорта [11].

Для добычи урановых руд перспективен подход, предполагающий создание в недрах специальных горнотехнических конструкций на основе кислотостойких материалов, так называемых камер-реакторов. В эти камеры загружается сырьё требуемой крупности, проводится выщелачивание с возможностью подачи кислорода, осуществляется циркуляция растворов и получение кондиционных для гидromеталлургического передела продуктивных растворов. В результате на поверхность выдаётся меньший объём горной массы, значительная часть отходов остаётся в недрах с возможностью консервации камер. В нашей стране не производятся оборудование и химические компоненты для технологии пастовой закладки для утилизации радиоактивных отходов при освоении урановых месторождений. Для эффективного освоения данного стратегического сырья исследования в этой области должны стать первоочередными.

Проектирование рудников для обеспечения потребности в критических металлах предполагает внедрение перспективных научно обоснованных решений на базе глубокого изучения структуры и свойств горных массивов и добываемого сырья. Такие решения должны включать селективную отработку, внутрируднич-

ные системы управления качеством, утилизацию пустых пород без выдачи на поверхность, утилизацию хвостов обогащения после глубокой переработки сырья в виде пастовой или иной закладки, комбинированные технологии – сочетание различных физико-технических и физико-химических способов добычи в пределах одного месторождения [6, 11].

Проблемы обогащения и переработки руд. Основные тенденции развития современного горно-металлургического комплекса России определяются необходимостью широкого вовлечения в переработку труднообогатимых руд и техногенного редкометалльного сырья, которые характеризуются низким содержанием ценных компонентов, тонкой вкрапленностью руд и близкими технологическими свойствами слагающих их минералов [12]. При этом эффективность процессов обогащения полезных ископаемых во многом предопределяет экономику всего горно-металлургического производства.

Проблема разделения минералов с близкими технологическими свойствами традиционно решается повышением селективности обогатительных процессов. Научные исследования в настоящее время ведутся по нескольким направлениям, включая разработку флотационных реагентов направленного действия и использование энергетических методов обработки минералов, пульпы и промышленных вод. В последние годы для направленного изменения поверхностных свойств минералов активно изучается возможность использования энергетических воздействий, таких как радиационные, ультразвуковые, электрохимические, механохимические, плазменные. Если раньше эти направления рассматривались как экзотические, то в связи с началом выпуска промышленных плазмотронов, линейных ускорителей, ультразвуковых генераторов можно говорить о реальном внедрении новых экологически безопасных технологий в процессы первичной переработки труднообогатимых комплексных руд сложного вещественного состава [13–16].

Рассмотрим комплекс проблем, связанных с добычей, переработкой и обогащением руд на примере лития – одного из основных стратегических металлов. Литий находит применение в различных отраслях промышленности: чёрная и цветная металлургия (повышение пластичности, прочности металлов, сплавы с магнием, алюминием, скандием для гражданских и военных самолётов, ракетной техники), производство лёгких и высокоэффективных химических источников тока, радиоэлектроника, термоэлектрические преобразователи, монокристаллы для лазеров, медицинские препараты. Изотопы лития используются в ядерных реакторах в качестве теплоносителя, карбид лития – в термоядерной энергетике. И это далеко не все применения.

Потребление лития в мире постоянно растёт – с 70 тыс. т в 2020 г. до 93 тыс. т в 2021 г., по прогнозам оно достигнет 450 тыс. т в 2030 г. (более 2 млн т по Li_2CO_3). В России потребление составило 1.5 тыс. т в 2021 г., прогнозы на 2030 г. – 7.5 тыс. т (35 тыс. т по Li_2CO_3).

Разведанные общемировые ресурсы лития составляют 98 млн т. Часть их располагается в рудных месторождениях, которые содержат 30–35% разведанных запасов. Они эксплуатируются в Австралии, Канаде, Зимбабве и Финляндии, недавно открыты новые месторождения в Португалии. Другая часть – гидроминеральное сырьё, составляющее 65–70% запасов, сконцентрировано в соляных

озёрах, главным образом высохших содово-щелочных озёрах – саларах. Основные запасы разведаны в Чили, Боливии, Аргентине, Китае.

Главные провинции рудных и гидроминеральных месторождений лития в России представлены на рисунке 4. Основные запасы сосредоточены на Кольском полуострове, в Республике Тыва (руды) и в Забайкалье (гидроминеральные смеси). Весьма значительные прогнозные ресурсы лития (около 4.5 млн т категорий P1 и P2) содержатся в межпластовых рассолах кембрийских отложений Сибирской платформы [17].



Рис. 4. Главные провинции рудных и гидроминеральных месторождений лития в России. Основные рудные запасы сосредоточены на Кольском полуострове и в Республике Тыва, гидроминеральные смеси – в Забайкалье

В целом спрос на литий в России, по экспертным оценкам, в настоящее время минимален, этот металл востребован атомной отраслью и ВПК. Учитывая, что производство лития – процесс энергоёмкий, а электроэнергия в нашей стране значительно дешевле, чем в Европе и США, себестоимость отечественного металла будет экономически привлекательна. Карбонат лития собственного производства планируется получить в России через 2–3 года.

В Институте химии твёрдого тела и механохимии СО РАН ещё в 1950-х годах была разработана комплексная технология переработки сподуменового концентрата – источника лития (руководитель работ доктор технических наук И.С. Лилеев). Созданная технология использовалась для получения отечественного лития – был построен Красноярский химико-металлургический завод, который поставлял продукт на Новосибирский завод химических концентратов, где и производили металлический литий батарейного качества и его соединения. В настоящее время завод работает исключительно на импортном сырье.

Для переработки литиевых руд и концентратов традиционно используют четыре способа: сульфатный, известковый, сернокислотный и хлорирующий обжиг. Сульфатный способ, основанный на спекании литиевых руд и концентратов с сульфатом

калия, сопряжён со значительным расходом дорогостоящего сульфата калия. Этот способ применялся в промышленном масштабе при переработке литиевых слюд: лепидолита и цинвальдита. Известковый способ предполагает спекание с известью с последующим разложением спека водой; образующийся при выщелачивании спека гидроксид лития кристаллизуется из раствора после многостадийного упаривания. К преимуществам этого способа относится возможность прямого получения гидроксида лития, но нельзя не учитывать и серьёзные недостатки. Известковый способ применим в большей степени к богатым литиевым концентратам, однако и в этом случае извлечение в готовый продукт не превышает 70%, что обусловлено ограниченной растворимостью гидроксида лития и способностью шламов после выщелачивания к схватыванию. Другой недостаток – необходимость выпаривания больших объёмов растворов.

Разложение серной кислотой (сернокислотный способ) используют для литиевых концентратов всех типов: сподуменовых, лепидолитовых и амблигонитовых. Сернокислотный способ обеспечивает извлечение 80% лития и превосходит все другие технологические процессы. Однако сернокислотная технология сопряжена с рядом нежелательных последствий, в том числе экологических. Ресурсосберегающий аналог этого процесса предложен членом-корреспондентом РАН Р.Х. Хамизовым (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН). Преимущество процесса в том, что при выщелачивании вместо серной кислоты используется бисульфат аммония, к тому же при разложении сподумена осуществляется рекуперация реагента.

В лабораторных условиях продемонстрированы возможности извлечения лития из рудного и гидроминерального сырья с помощью разработанных в Институте геохимии и аналитической химии РАН замкнутых ресурсосберегающих процессов, позволяющих многократно снизить расход реагента и удерживать сорбционные материалы в технологических циклах. Для продвижения технологии необходимы дальнейшие исследования на опытно-промышленных установках, но их создание не профинансировано. Между тем новая технология могла бы найти применение при переработке руд Колмозёрского пегматитового месторождения на Кольском полуострове, объём добычи на котором должен достигнуть 45 тыс. т продукции в год.

Для селективного выделения лития из гидроминеральных смесей применяются методы экстракционные, сорбционные и селективного осаждения. По всем направлениям имеются инновационные разработки институтов РАН. Так, коллективом Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН под руководством академика РАН А.Ю. Цивадзе разработан экстракционный способ извлечения лития на основе новых литий-селективных экстрагентов [18]. По структуре они подобны известным 1.3-дикетонам, однако имеют бóльшую эффективность и меньшую стоимость. Разработанный способ обладает крайне высокой Li/Na, Li/K селективностью и демонстрирует очень высокие коэффициенты распределения лития даже в разбавленных растворах. Способ применим для извлечения лития из руд, рассолов и техногенных отходов. Его апробация также требует создания опытно-промышленной установки.

В 2012 г. в Китае запущено предприятие по выпуску около 10 тыс. т карбоната лития в год с использованием технологии, основанной на разработках Института химии твёрдого тела и механохимии СО РАН [19, 20] и реализованной ООО

«Экостар-Наутех» в Новосибирске (доктор химических наук Н.П. Коцупало и доктор технических наук А.Д. Рябцев). Ранее, в 2004 г., прошли успешные испытания высокоселективного сорбента ДГАЛ-С1 на китайских рассолах компанией из КНР. Освоен промышленный процесс получения карбоната лития из рассолов озера Дабсан-Нур (провинция Цинхай, КНР). Для реализации этой технологии на российских предприятиях Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН предложил улучшить технологическую схему путём организации сорбционных процессов на порошковом сорбенте с использованием пульсационных колонн – вместо грануляции сорбента ДГАЛ-С1. Применение пульсационных противоточных колонн обеспечивает высокотурбулентное движение раствора и порошкового ДГАЛ-С1, чем снимаются внешне диффузионные ограничения и достигается полнота извлечения лития из рассолов.

Проблемы добычи редкоземельных элементов. На территории Российской Федерации разведано более 90 месторождений РЗЭ (рис. 5). Рудопроявления зафиксированы в более чем 70 районах. РЗЭ включают 17 химических элементов, из которых сейчас наиболее востребованы диспрозий, неодим, празеодим (в производстве магнитов для транспорта). По ресурсам и резервам редкоземельных элементов Россия делит 2–3 место с Бразилией, уступая только Китаю.

Хотя известно более 200 минералов, содержащих РЗЭ, но добываются для их извлечения только четыре: бастнезит, лопарит, монацит и ксенотим. Для большинства редкоземельных элементов в России нет технологий извлечения, недостаточно изучены физические свойства минералов. В нашей стране разрабатываются два месторождения РЗЭ: Ловозеро, из его лопаритовых руд извлекаются металлы; в хибинских месторождениях РЗЭ содержатся в апатите, из него получают удобрения, а редкоземельные элементы уходят в хвосты. В 2021 г. Китай добыл 168 тыс. т, а Россия – 117.7 тыс. т руд РЗМ. Но из добытого в нашей стране только 2.5 тыс. т лопаритовых руд идёт в переработку.

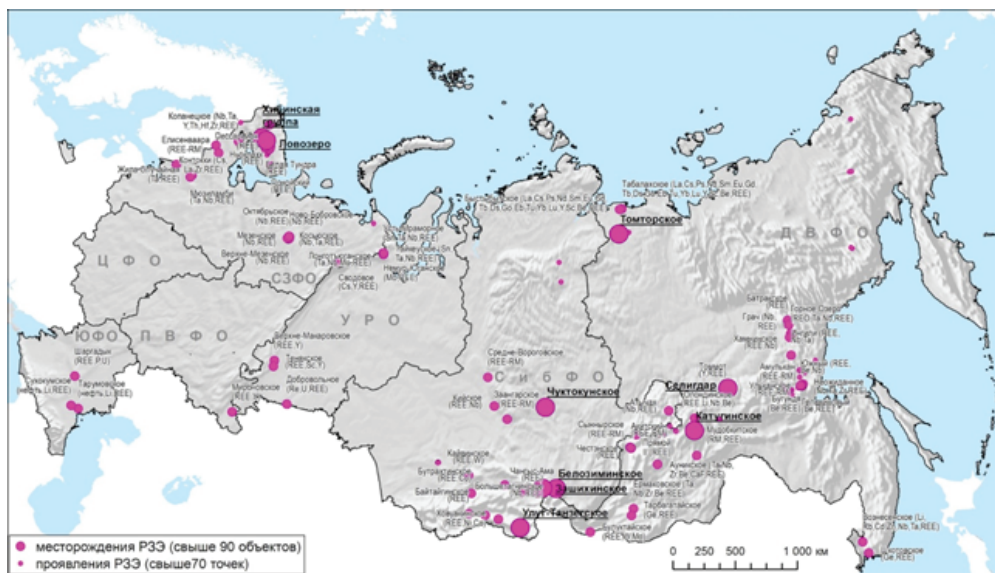


Рис. 5. Основные месторождения редкоземельных элементов в Российской Федерации

Институты РАН активно разрабатывают технологии переработки руд Кольского региона (в числе его преимуществ – достаточно развитая инфраструктура и транспортная доступность) [13]. В Институте проблем комплексного освоения недр РАН предложена технология переработки эвдиалитовых руд [13]. Производство TiO_2 для титан-содержащих продуктов из техногенных отходов обогащения апатито-нефелиновой руды разработано в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН. Этим институтом, а также Государственным научно-исследовательским и проектным институтом редкометаллической промышленности и Ведущим научно-исследовательским институтом химической технологии (оба в составе ГК «Росатом») предложен совместный проект переработки колмозерского сподумена, с получением карбоната лития на пилотной площадке в г. Апатиты.

Следует также отметить, что наиболее быстрыми темпами самообеспечение по ряду импортозависимых видов минерального сырья (Ti, Nb, REE, Ta, Zr) может быть достигнуто за счёт освоения россыпных месторождений, преимущество которых по сравнению с коренными месторождениями заключается, во-первых, в относительно неглубоком залегании промышленного пласта (десятки метров), что позволяет проводить отработку в открытом карьере; во-вторых, для глубоко-залегающих россыпей возможно применение метода скважинной гидродобычи, по эффективности сопоставимого с открытой отработкой; в-третьих, процессы обогащения, преимущественно гравитационного, технологически просты; в-четвёртых, процессы обогащения энергетически эффективны, исключают дробление материала, на которое уходит 50% энергетических затрат при разработке коренных месторождений; в-пятых, средства, вложенные в добычу россыпей, быстро начинают отдачу, часто в течение одного сезона.

В Томторском и Чуктуконском месторождениях сосредоточено около 80% запасов богатых руд России по редкоземельным металлам и ниобию [17], однако предварительное их обогащение современными методами не представляется возможным. Это обусловлено ультрадисперсностью минеральных составляющих и их тонким взаимным проращением [13]. Общие ресурсы Томторского месторождения колоссальны. По современным оценкам запасы составляют 73.6 млн т Nb_2O_5 , 153.7 млн т TR_2O_3 , около 2 млрд т P_2O_5 . По ресурсам редких и редкоземельных металлов и их концентрациям Томторское месторождение – безусловный лидер нашей планеты. Чуктуконское рудное месторождение, расположенное в Красноярском крае, в 120 км от г. Кодинска, – уникальный редкометалльный объект России, содержащий наряду с редкоземельными металлами ниобий и ряд других ценных металлов.

Однако освоение этих месторождений затруднено в связи с их удалённостью, сложными географическими условиями, вечной мерзлотой, отсутствием инфраструктуры, в том числе дорог и энергоснабжения. В настоящее время выполняется большой цикл исследований по комплексной переработке руд этих месторождений [21, 22]. Исследования по усовершенствованию процесса глубокого обогащения руды Томторского месторождения (участок Южный и Северный) ведутся во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского. В Институте химии и химической технологии СО РАН

разработана уникальная технология переработки томторских руд. В полезную переработку вовлекается 75% компонентов руды, в результате чего отсутствует необходимость в её предварительном обогащении.

Выводы и рекомендации. Резюмируя, необходимо ещё раз подчеркнуть: достижение технологического суверенитета России – наиболее актуальной на сегодня государственной задачи – неосуществимо без прочной опоры на отечественное минеральное сырьё.

В целях исполнения поручения Президента Российской Федерации от 28 июня 2022 г. № Пр-1130 Российская академия наук считает необходимым ускорить разработку и реализацию федеральной научно-технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы на основе технологий прогноза, поисков, геологоразведки, добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации». Программа предусматривает не только создание технологий от стадии прогноза и поисков месторождений до глубокой переработки высокотехнологичных видов сырья, но и разработку и запуск производства отечественного оборудования, подготовку кадров и, что не менее важно, формирование и развитие устойчивого поступательно растущего внутреннего спроса на получаемую продукцию высоких переделов. В ходе реализации программы должен осуществляться постоянный мониторинг актуальности включённых в неё работ и мероприятий, уточнение приоритетов развития минерально-сырьевой базы полезных ископаемых в увязке с прогнозом научно-технологического развития России, комплексное научно-техническое сопровождение геологоразведочных работ, добычи и промышленной переработки твёрдых полезных ископаемых, а также ускоренное замещение импортных технологий и оборудования российскими аналогами.

Российская академия наук призвана объединить исследования ведущих научных и производственных организаций по следующим направлениям:

- разработка отечественной аппаратуры для полевых и лабораторных геологических, геохимических и геофизических исследований, в том числе для поиска и разведки скрытых, глубокозалегающих, нетрадиционных и техногенных месторождений металлов и иных видов стратегического минерального сырья;
- расширение работ по поискам и разведке новых месторождений на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке с особым вниманием к слабо изученным арктическим регионам;
- разработка и обеспечение промышленного производства отечественного оборудования для проведения подземных работ, в том числе в стеснённых условиях и с применением безлюдных технологий;
- разработка новых технологий добычи, аппаратно-программных комплексов управления горнотехническими системами, в том числе замкнутых схем обращения минерального вещества в недрах с выдачей на поверхность только товарной продукции;
- создание экологически безопасных технологий извлечения стратегических металлов из комплексных руд сложного вещественного состава, выделения ценного сырья из гидроминеральных и техногенных источников;
- создание и промышленное производство высокоэффективных отечественных флотореагентов, экстрагентов и сорбентов для их применения в технологиях

обогащения и селективного извлечения стратегических металлов, а также нового отечественного оборудования для предконцентрации и обогащения (дробилки ударного действия, тяжелосредние сепараторы, флотационные машины и др.);

- создание опытно-промышленных обогатительных установок для апробации инновационных технологий обогащения, разделения и извлечения стратегических металлов, разработанных в процессе проведения опытно-конструкторских работ.

Автор выражает благодарность академикам РАН Н.С. Бортникову, В.Н. Захарову, Л.И. Леонтьеву, Н.П. Похиленко, А.Ю. Цивадзе, В.А. Чантурия, членам-корреспондентам РАН Т.Н. Александровой, А.В. Волкову, А.П. Немудрому, И.Г. Тананаеву, Р.Х. Хамизову, доктору геолого-минералогических наук А.В. Лаломову, доктору химических наук О.П. Таран за предоставленные материалы.

Литература

1. Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В. и др. Месторождения стратегических металлов арктической зоны // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 479–500.

Bortnikov N.S., Lobanov K.V., Volkov A.V. et al. Strategic metal deposits of the Arctic Zone // Geology of ore deposits. 2015. V. 57. № 6. P. 433–453.

2. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л. и др. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 2. С. 97–119.

Bortnikov N.S., Volkov A.V., Galyamov A.L. et al. Mineral resources of high-tech metals in Russia: State of the art and outlook // Geology of ore deposits. 2016. V. 58. № 2. P. 83–103.

3. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л. и др. Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России // Геология рудных месторождений. 2022. Т. 64. № 6. С. 617–633.

Bortnikov N.S., Volkov A.V., Galyamov A.L. et al. Fundamental Problems of Development of the Mineral-Resource Base of High-Tech Industry and Energy of Russia // Geology of ore deposits. 2022. V. 64. № 6. P. 313–328.

4. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л. и др. Проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности России // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 5. С. 371–386.

Bortnikov N.S., Volkov A.V., Galyamov A.L. et al. Problems of development of the mineral resource base of the high-tech industry of Russia // Geology of ore deposits. 2023. V. 65. № 5. P. 397–411.

5. Бортников Н.С., Лаломов А.В., Волков А.В., Бочнева А.А. Роль россыпных месторождений в обеспечении воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегического минерального сырья России на современном этапе. 2024 // Russian Journal of Earth Science. 2024. № 1 DOI: 10.2205/2024es000897

Bortnikov N.S., Lalomov A.V., Volkov A.V., Bochneva A.A. The role of alluvial

deposits in ensuring the reproduction of the mineral resource base of scarce types of strategic mineral raw materials in Russia at the present stage // Russian Journal of Earth Science. 2024. № 1. DOI: 10.2205/2024es000897

6. Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н. Принципы проектирования и выбор технологии освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников // Горный журнал. 2017. № 11. С. 52–59. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.10

Kaplunov D.R., Radchenko D.N. Design philosophy and choice of technologies for sustainable development of underground mines // Gornyi Zhurnal. 2017. № 11. P. 52–59. DOI: 10.17580/gzh.2017.11.10

7. Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. Устойчивое развитие горнотехнических систем как переход от добычи полезных ископаемых к освоению георесурсов и сохранению недр // Горный журнал. 2021. № 8. С. 4–7. DOI:10.17580/gzh.2021.08.01

Kaplunov D.R., Fedotenko V.S. Sustainable advancement in geotechnical engineering as transition from mineral mining to development and preservation of natural resources // Gornyi Zhurnal. 2021. № 8. P. 4–7. DOI:10.17580/gzh.2021.08.01

8. Похиленко Н.П., Толстов А.В. Перспективы освоения Томторского месторождения комплексных ниобий-редкоземельных руд // ЭКО – Всероссийский экономический журнал. 2012. № 11. С. 17–27.

Pokhilenko N., Tolstov A. Prospects for the development of the Tomtorskoye deposit of complex niobium-rare earth ores // ECO – All-Russian Economic Journal. 2012. № 11. P. 17–27.

9. Похиленко Н.П., Крюков В.А., Толстов А.В., Самсонов Н.Ю. Томтор как приоритетный инвестиционный проект обеспечения России собственным источником редкоземельных элементов // ЭКО – Всероссийский экономический журнал. 2014. № 2. С. 22–35.

Pokhilenko N., Kryukov V., Tolstov A., Samsonov N. Tomtor as Priority Investment Project to Provide Russia with its own Source of Rare Earth Elements // ECO – All-Russian Economic Journal. 2014. № 2. P. 22–35.

10. Толстов А.В., Похиленко Н.П., Лапин А.В. и др. Инвестиционная привлекательность Томторского месторождения и перспективы её повышения // Разведка и охрана недр. 2014. № 9. С. 25–30.

Tolstov A.V., Pokhilenko N.P., Lapin A.V. et al. Investment appeal of Tomtor deposit and prospect of its increase // Prospect and protection of mineral resources. 2014. № 9. P. 25–30.

11. Захаров В.Н., Гвишиани А.Д., Вайсберг Л.А., Дзеранов Б.В. Большие данные и устойчивое функционирование горнотехнических систем // Горный журнал. 2021. № 11. С. 45–52. DOI: 10.17580/gzh.2021.11.06

Zakharov V.N., Gvishiani A.D., Vaisberg L.A., Dzeranov B.V. Big Data and sustainable functioning of geotechnical systems // Gornyi Zhurnal. 2021. № 11. P. 45–52. DOI: 10.17580/gzh.2021.11.06

12. Леонтьев Л.И., Заякин О.В., Волков А.И. Проблемы развития металлургической отрасли для обеспечения технологического суверенитета России с учётом состояния минерально-сырьевой базы // Вестник РАН. 2023. Т. 93. № 7. С. 631–645.

Leontiev L.I., Zayakin O.V., Volkov A.I. Problems of development of the metallurgical industry to ensure the technological sovereignty of Russia, accounting the state of the mineral resource base // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2023. V. 93. № 7. P. 631–645.

13. Чантурия В.А. Научное обоснование и разработка инновационных процессов комплексной переработки минерального сырья // Горный журнал. 2017. № 11. С. 7–13. DOI:10.17580/gzh.2017.11.01.

Chanturia V.A. Scientific substantiation and development of innovative approaches to integrated mineral processing // Gornyi Zhurnal. 2017. № 11. P. 7–13. DOI:10.17580/gzh.2017.11.01

14. Чантурия В.А., Николаев А.И., Александрова Т.Н. Инновационные экологически безопасные процессы извлечения редких и редкоземельных элементов из комплексных руд сложного вещественного состава // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 5. С. 402–415. DOI:10.31857/S0016777023050040

Chanturia V.A., Nikolaev A.I., Aleksandrova T.N. Innovative Environmentally Safe Processes for the Extraction of Rare and Rare-Earth Elements from Complex Ores of Perplexed Material Composition // Geology of ore deposits. 2023. V. 65. № 5. P. 425–437

15. Aleksandrova T., Nikolaeva N., Afanasova A. et al. Extraction of Low-Dimensional Structures of Noble and Rare Metals from Carbonaceous Ores Using Low-Temperature and Energy Impacts at Succeeding Stages of Raw Material Transformation // Minerals. 2023. V. 13. № 1. P. 84. <https://doi.org/10.3390/min13010084>

16. Александрова Т.Н., Прохорова Е.О. Модификация свойств порообразующих минералов при флотации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12. С. 123–138. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_123.

Aleksandrova T.N., Prokhorova E.O. Modification of properties of rock-forming minerals during flotation // Mining informational and analytical bulletin. 2023. № 12. P. 123–138. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_123

17. Похиленко Н.П., Афанасьев В.П., Толстов А.В. и др. Перспективы развития и проблемы освоения сырьевой базы дефицитных стратегических видов твёрдых полезных ископаемых Сибири // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 63. № 5. С. 476–492.

Pokhilenko N.P., Afanasiev V.P., Tolstov A.V. et al. Perspectives of the Development and Problems of Exploration of a Resource Base of Deficient Strategic Mineral Deposits of Siberia // Geology of Ore Deposits. 2023. V. 63. № 5. P. 476–492.

18. Цивадзе А.Ю., Баулин В.Е., Костикова Г.В. и др. Селективное извлечение лития из минерального, гидроминерального и вторичного сырья // Вестник РАН. 2023. № 7. С. 623–630.

Tsivadze A.Yu., Baulin V.E., Kostikova G.V. et al. Selective extraction of lithium from mineral, hydromineral and secondary raw materials // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2023. № 7. P. 623–630.

19. Немудрый А.П., Исупов В.П., Коцупало Н.П., Болдырев В.В. Взаимодействие кристаллического гидроксида алюминия с водными растворами солей лития. 2. К вопросу о механизме взаимодействия гидраргиллита с водными растворами хлорида лития // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. 1984. Вып. 5. С. 47–51.

Nemudry A.P., Isupov V.P., Kotsupalo N.P., Boldyrev V.V. Interaction of crystalline aluminum hydroxide with aqueous solutions of lithium salts. 2. On the question of the mechanism of interaction of hydrargillite with aqueous solutions of lithium chloride // Izv. Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Ser. chem. Sci. 1984. V. 5. P. 47–51.

20. Isupov V.P., Kotsupalo N.P., Nemudry A.P., Menzeres L.T. Aluminium hydroxide as selective sorbent of lithium salts from brines and technical solutions // *Stud. Surf. Sci. Catal.* 1999. V. 120(A). P. 621–652. [https://doi.org/10.1016/s0167-2991\(99\)80567-9](https://doi.org/10.1016/s0167-2991(99)80567-9)

21. Serdyuk S.S., Lomayev V.G., Kuzmin V.I. et. al. The Chuktukon niobium-rare earth metals deposit: Geology and investigation into the processing options of the ores // *Minerals Engineering*. 2017. V. 113. November. P. 8–14.

22. Kuzmin V.I., Flett D.S., Kuzmina V.N. et. al. The composition, chemical properties, and processing of the unique niobium-rare earth ores of the Tomtor deposit // *Chemical Papers*. 2019. V. 73. Is. 6. P. 1437–1446. DOI: 10.1007/s11696-019-00695-z

ДОКЛАД

**ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН А.В. МАКАРОВА,
АКАДЕМИКА РАН А.А. ИНОЗЕМЦЕВА,
АКАДЕМИКА РАН В.Г. ДЕГТЯРЯ,
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК Е.В. ХАРАНЖЕВСКОГО,
ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА АО «НПП "МАШПРОМ"»
А.Б. КОТЕЛЬНИКОВА,
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК А.А. ВОПНЕРУКА
«ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
СУВЕРЕНИТЕТА РОССИИ
В МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИИ»**

Металлургия и машиностроение – системообразующие отрасли промышленности Российской Федерации, без которых невозможно решение ни одной из стратегических задач государственной политики – от авиакосмического сектора и национальной обороны до микроэлектроники и медицины. Для обеспечения технологического суверенитета в этих отраслях необходимо опираться на новейшие научные разработки и создавать научный задел на будущее на основе фундаментальных исследований. Сложность возникающих научно-технических проблем требует привлечения усилий широкого круга научных организаций, ведущих исследования такого уровня. То есть сформировалась насущная потребность в укреплении сотрудничества реального сектора экономики России с государственными научными центрами и научными организациями РАН.

Серьёзной проблемой на протяжении последних десятилетий стала зависимость Российской Федерации от массового импорта гражданских самолётов. Развитие же отечественного гражданского авиастроения во многом определяется созданием собственных газотурбинных двигателей нового поколения, поэтому первоочередная задача обеспечения технологического суверенитета нашей страны в области гражданской авиации заключается в разработке и освоении серийного производства современных гражданских турбовентиляторных двигателей пятого поколения ПД-14 и ПД-35. Решение в предельно сжатые сроки этой задачи потребует концентрации научного и технологического потенциала страны с участием профильных государственных научных центров (ЦАГИ, ЦИАМ, ВИАМ) и институтов РАН в разработке научных основ, а также ключевых материалов и технологий.

Возвращение Российской Федерации на передовые позиции в космонавтике – также в числе приоритетов государственной политики. Выведение в космическое пространство и обеспечение функционирования орбитальных группировок космических аппаратов необходимо для осуществления навигации, телекоммуникации, дистанционного зондирования Земли, повышения обороноспособности, прове-

дения научных экспериментов и, наконец, для изучения Вселенной. Эффективность и конкурентоспособность космической отрасли в современных условиях во многом определяется созданием экономичных ракет-носителей нового поколения и перспективных ракетно-космических систем как частично, так и полностью многоразовых.

Выход из строя более 80% изделий машиностроения происходит в результате их поверхностного разрушения при изнашивании, коррозии, эрозии при кавитации, воздействии высоких температур и контактных нагрузок. Усталостные трещины также зарождаются именно на поверхности деталей. В этой связи применением эффективных способов модифицирования поверхности нередко достигается кратное повышение ресурса деталей, узлов и механизмов. Для обеспечения технологического суверенитета в этой области следует развивать передовые отечественные лазерные технологии создания сверхтвёрдых, износостойких и антифрикционных покрытий и легированных слоёв.

В обеспечении национальной безопасности в области сталелитейной промышленности стратегически важное значение имеют разработки материалов и технологий изготовления и ремонта кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок (на таких машинах осуществляется более 96% мирового объёма выпуска стали).

Рассмотрим подробнее пути решения перечисленных задач.

Создание газотурбинных двигателей нового поколения для гражданской авиации.

Авиационное двигателестроение – наукоёмкая, высокотехнологичная и динамично развивающаяся отрасль, имеющая существенное значение для обороноспособности и социально-экономического развития страны. Для обеспечения технологического суверенитета в этой сфере реализуются три стратегически важные программы: "ПД-14", "ПД-8" и "ПД-35".

Первая из них предполагает создание семейства авиационных двигателей пятого поколения в диапазоне тяги 9–18 т. Базовый, ПД-14, предназначенный для нового российского ближне-среднемагистрального самолёта МС-21-310, – это первый двигатель гражданского назначения, созданный в современной России с осевой линии, его разработка заложила фундамент для развития российского двигателестроения на десятилетия вперёд. Магистральный самолёт МС21-310 с ПД14 возвращает нашу страну на передовые позиции в мировой авиации (рис. 1).

Проектирование ПД-14 выполнено в АО "ОДК-Авиадвигатель". Серийное производство налажено в АО "ОДК-Пермские моторы" в тесной кооперации с предприятиями Объединённой двигателестроительной корпорации (ГК "Ростех"). Впервые в истории отечественного двигателестроения пермским КБ создана двигательная установка, включающая в себя помимо двигателя и мотогондолу (в ней использованы современные полимерные композитные материалы, что позволило существенно снизить массу силовой установки).



Рис. 1. Самолёт MC-21-310 с двигателями ПД-14
Фото Алексея Михеева

ПД-14 уже имеет все необходимые лётные сертификаты. Научно-методологическое сопровождение программы выполнено государственными научными центрами ЦАГИ, ЦИАМ, ВИАМ. Необходимо отметить и весомый вклад Института проблем сверхпластичности металлов РАН в разработку технологии изготовления пустотелой лопатки вентилятора, являющейся важнейшим элементом двигателя, Института механики сплошных сред УрО РАН, а также профильных институтов СО РАН в решение прикладных задач.

Вторая программа касается создания авиационного двигателя ПД-8, многие технологии и материалы которого уже серийно освоены в ПД-14. ПД-8 предназначен для замены российско-французского двигателя SaM146 и установки на пассажирский самолёт Sukhoi Superjet New. ПД-8 также планируется устанавливать на самолёт-амфибию Бе-200, оснащённый сейчас украинскими двигателями. Таким образом, в результате реализации программ "ПД-14" и "ПД-8" Россия достигает полного технологического суверенитета в области двигателестроения для ближне-среднемагистральной авиации.

Третья программа предусматривает разработку ключевых технологий двигателей большой тяги, демонстрацию готовности технологий на ПД-35, создание семейства конкурентоспособных двигателей (диапазон взлётной тяги от 24 до 50 т) в востребованных рынком классах тяги. В числе 20 новых ключевых технологий (поколение 5+) – создание рабочей лопатки вентилятора из полимерных композиционных материалов (рис. 2 а), малоэмиссионной камеры сгорания, высокотемпературных турбин с уменьшенным расходом охлаждающего воздуха, мотогондолы с естественным ламинарным обтеканием, изготовление деталей двигателя, в частности крупногабаритных, с применением аддитивных технологий, изготовление литых, в том числе крупногабаритных и сложнофасонных, деталей

из жаропрочных, титановых и цветных сплавов, конструктивно-технологические решения для производства подшипниковых опор роторов двигателя и др. Всего в рамках третьей программы с участием ЦАГИ, ЦИАМ, ВИАМ и профильных институтов РАН планируется решить более 1200 крупных научно-инженерных задач. Рассмотрим некоторые из них.



а



б



в

Рис. 2. Сборка и подготовка к испытаниям двигателя-демонстратора технологий ПД-35
а – рабочая лопатка вентилятора из полимерных композиционных материалов;
б – двигатель-демонстратор полностью собран;
в – двигатель-демонстратор подготовлен к испытаниям

Авиационные материалы. Для перспективных образцов авиационной техники разрабатывается новый класс материалов, обладающих улучшенными эксплуатационными свойствами. Так, под руководством академика РАН Е.Н. Каблова в НИЦ "Курчатовский институт" – ВИАМ выполнен большой объем НИОКР по созданию нового поколения конструкционных высокотемпературных, полимерных композиционных, аддитивных, интерметаллидных и функциональных материалов [1]. Всего учёными и специалистами ВИАМ для ПД-35 предложено 13 новых материалов с повышенными показателями физико-механических свойств и ещё 6 находятся в стадии разработки. Керамические композиционные материалы могут обеспечить длительную работу теплонапряжённой части двигателя при температурах до 1400°C без дорогостоящего воздушного охлаждения, что даёт дополнительный выигрыш в топливной эффективности. Для обеспечения требуемых параметров рабочего цикла двигателя в НИЦ "Курчатовский институт" – ВИАМ разрабатывается бескислородный керамический композиционный материал с матричным составом системы Si-B-Mo-C [2].

В Институте проблем сверхпластичности металлов РАН под руководством члена-корреспондента РАН Р.Р. Мулюкова разработан γ -TiAl интерметаллидный сплав [3]. В интервале температур 600–800°C он демонстрирует самые высокие удельные прочностные и упругие свойства среди известных конструкционных материалов, поэтому лопатки турбины низкого давления из него могут оказаться лёгкими и надёжными.

Аэродинамика. Для повышения дальности полёта актуально снижение аэродинамического сопротивления двигательной установки и самолёта в целом за счёт организации естественного ламинарного обтекания поверхности мотогондолы. Сотрудниками Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН под руководством академика РАН В.М. Фомина предложен программный продукт на основе eN-метода для расчёта затягивания положения ламинарно-турбулентного перехода на поверхности мотогондолы [4, 5]. В ЦАГИ под руководством академика РАН С.Л. Чернышева и члена-корреспондента РАН К.И. Сыпало проведён цикл исследований проточной модели мотогондолы, спроектированной с учётом расчётов, проведённых в ИТПМ СО РАН. Получены положительные результаты.

В настоящее время учёные ЦАГИ, ИТПМ и специалисты "ОДК-Авиадвигатель" совместно проектируют демонстратор мотогондолы с естественным ламинарным обтеканием для испытаний в составе летающей лаборатории. По предварительным оценкам, применение такой мотогондолы может привести к уменьшению потребного расхода топлива на 1.0–1.5%, что повысит преимущество российского двигателя большой тяги.

Повышение усталостной прочности элементов двигателя. В Институте механики сплошных сред УрО РАН под руководством члена-корреспондента РАН О.А. Плехова создана опытная установка для упрочнения деталей лазерным ударом, которая обеспечивает наведение поверхностных сжимающих остаточных напряжений на глубину свыше 1 мм [6]. Внедрение этой технологии позволит существенно повысить эксплуатационную надёжность лопаток компрессора при возможном попадании града, льда, песка, иных посторонних предметов на вход двигателя.

Оптические измерительные технологии. В Институте теплофизики СО РАН под руководством академика РАН Д.М. Марковича создан современный стенд для испытаний отсека камеры сгорания с оптическим доступом, позволяющий детально исследовать рабочий процесс в модельной камере ПД-35 при повышенном давлении (до 20 атм) и температуре воздуха на входе в отсек (до 600°C). Оптические технологии способствуют также повышению качества математического моделирования процессов распыления и горения топлива, образования выбросов NOX, CO (в 4D постановке).

Работы по двигателю большой тяги стартовали в 2018 г. С 2021 г. проводятся испытания газогенератора-демонстратора ПД-35. Первое испытание полноразмерного двигателя-демонстратора технологий ПД-35 (рис. 2 б) запланировано в АО "ОДК-Авиадвигатель" на февраль 2024 г. Для испытаний семейства таких двигателей в пригороде Перми сооружён уникальный испытательный стенд открытого типа, не имеющий аналогов в России, Евросоюзе и странах Азии (рис. 2 в).

Приоритетные разработки многоразовых ракетно-космических систем.

Первоочередная задача в гражданском ракетостроении – разработка полностью многоразовой одноступенчатой ракеты-носителя вертикального взлёта и посадки с применением отечественных многослойных композиционных материалов. Такая ракета-носитель будет способна не только выводить полезную нагрузку в космос, но и возвращать с орбиты отработавшие и вышедшие из строя космические аппараты.

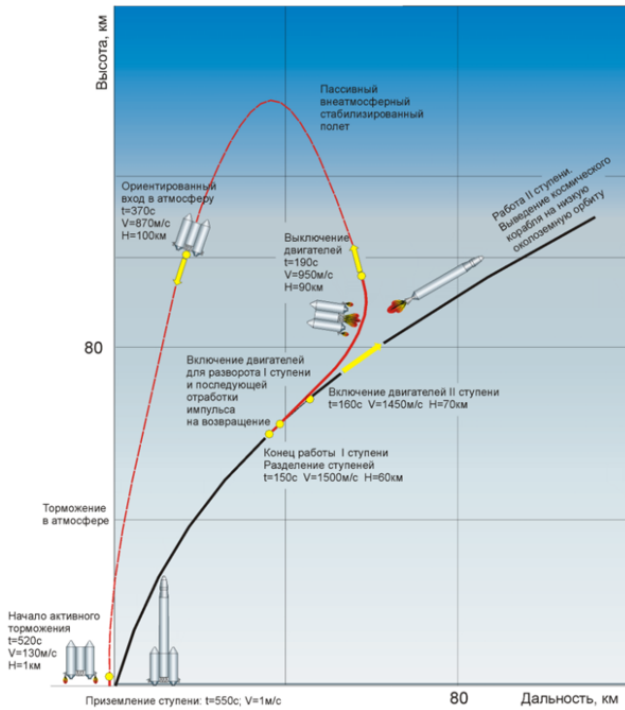
В АО "ГРЦ Макеева" формируется проектный облик многоразовых ракетно-конструкторских систем. Подготовлен проектный задел по ракете-носителю "Россиянка" с многоразовой возвращаемой первой ступенью (рис. 3 а, б), в которой в качестве топлива используются жидкий кислород и сжиженный природный газ [7]. Получены патенты на "Способ возвращения на космодром многоразовой первой ступени ракеты" [8] и "Способ использования многоразовой первой ступени ракеты-носителя" [9]. Здесь же ведутся проектно-конструкторские проработки полностью многоразовой одноступенчатой ракеты-носителя вертикального взлёта и посадки КОРОНА (рис. 3 в, г) [10]. Результаты защищены патентом [11].

Для достижения проектных параметров ракет-носителей нового поколения и перспективных ракетно-космических систем, как частично, так и полностью многоразовых, требуется комплексное развитие наукоёмких технологий в различных отраслях отечественной промышленности. Одна из таких критических технологий, необходимых для достижения совершенства конструкций по массе, уменьшения трудоёмкости изготовления и металлоёмкости конструкций, – создание баков большого диаметра из многослойных композиционных материалов.

За рубежом активно применяют полимерные композиционные материалы (ПКМ), например, в виде углеродной ленты в материале криогенных топливных баков ракет-носителей тяжёлого и сверхтяжёлого классов Falcon 9 FT, Falcon Heavy, Delta IV Heavy (США), Chang Zheng 9 (КНР), ARIANE-6 (Европейский союз), H3 Heavy (Япония), HLV и SHLV (Индия). Это даёт существенную экономию по весу и стоимости конструкций. Помимо NASA аналогичные разработки ПКМ ведутся в SpaceX, а также в Немецком авиакосмическом центре (DLR).



а



б



в



г

Рис. 3. Разработки многоразовых ракетно-космических систем АО "ГРЦ Макеева": внешний вид (а) и схема полета первой ступени ракеты-носителя «Россиянка(б); внешний вид (в) и схема полета ракеты-носителя КОРОНА (г)

В российской ракетно-космической отрасли первая и пока единственная попытка изготовить криогенные топливные баки из ПКМ без металлического лейнера (тонкостенного стакана) была предпринята в 2006–2008 гг. в АО "ГКНПЦ имени М.В. Хруничева". В 2020–2021 гг. в АО "ЦНИИмаш" проводились научные исследования по этой же тематике. В "ГРЦ Макеева" в рамках работ по созданию многоразовой одноступенчатой ракеты-носителя вертикального взлёта и посадки предложена конструкция бака с многослойной стенкой для криогенных компонентов топлива. Основным материалом стенки – углепластик, позволяющий избежать температурных деформаций и обеспечить термостабильность размеров элементов конструкций бака при высоких перепадах температуры. В составе стенки предусмотрены слои внутренней теплоизоляции, герметизирующий слой, силовые элементы и внешний слой теплозащитного покрытия. В рамках проекта Уральского межрегионального научно-образовательного центра с участием Южно-Уральского государственного университета как научного партнёра разработан и изготовлен демонстратор технологии изготовления стенки криогенного бака, проведены статические испытания на прочность до и после криогенного воздействия на конструкцию демонстратора, оценена проницаемость материала.

В 2023 г. "ГРЦ Макеева" определён головным исполнителем НИР в рамках государственного контракта по подтверждению ключевых технологий создания многоразовой одноступенчатой ракеты-носителя вертикального взлёта и посадки. Одна из ключевых – технология производства баков большого диаметра для криогенных компонентов топлива из углепластика в виде нитей, сот, гофр. Стенка изделия обеспечивает при штатной эксплуатации температуру в баках жидкого кислорода от 80 до 95 К, жидкого водорода от 14.5 до 20 К, заправку баков при температурах, соответственно, 80 К и 14.5 К.

Ёмкости для криогенных компонентов даже при существующем уровне развития композиционных технологий могут быть востребованы в таких отраслях отечественной промышленности, как газовая и нефтяная, а также в медицине, доставке криогенных компонентов (жидкие кислород и водород). Однако широкое внедрение технологий производства ёмкостей из полимерных композиционных материалов требует масштабирования и кратного увеличения выпуска углеродного волокна, что возможно только при государственной поддержке и выделении этого направления в отдельную государственную программу.

Керамические покрытия с уникальными триботехническими характеристиками.

Для обеспечения технологического суверенитета в машиностроении и металлургии первоочередной интерес вызывают методы, реализующие новые научные принципы и поэтому позволяющие ожидать действительно прорывных результатов. К ним можно отнести впервые разработанный метод нанесения на металлические подложки керамических покрытий, обладающих высокой твёрдостью (до 43 ГПа) и адгезионной прочностью соединения со сталями, никелевыми, титановыми и другими сплавами [12]. Этот метод позволяет также добиваться сверхнизкого коэффициента трения скольжения деталей, работающих в условиях ограниченной смазки или в её отсутствии [12, 13]. Для нанесения керамических покрытий используется способ высокоскоростного лазерного плавления дисперсных порошков лучом лазера с наносекундными импульсами. Высокоскоростной

нагрев поверхности до 3500°C обеспечивает расплавление и смешивание практически любых материалов. При последующем интенсивном охлаждении за счёт сверхвысоких скоростей затвердевания расплавов возникают сильнонеравновесные, аморфные состояния и пересыщенные твёрдые растворы, обеспечивающие материалам новые свойства.

Уникальное сочетание триботехнических и прочностных характеристик получено на образцах с керамическими покрытиями состава В4С-ВN-МgO-Li2O [12]. В результате высокочастотной короткоимпульсной лазерной обработки формируется аморфное керамическое покрытие с нанодисперсными включениями, состоящее в основном из карбидов и нитридов бора. Хорошее сцепление таких покрытий с металлами объясняется формированием новых фаз на границе керамика–подложка в результате лазерной обработки [14]. Благодаря высокой скорости охлаждения, развиваемой из-за локальности короткоимпульсного лазерного воздействия, формируемый керамический слой хорошо смачивает металлическую поверхность, имеет высокую сплошность и низкую шероховатость. Максимальная микротвёрдость этих керамических покрытий, достигающая 43 ГПа, что соответствует почти половине твёрдости алмаза, зафиксирована для состава карбид бора В4С – 50% нитрида бора ВN, нанесённого на никелевую подложку.

Для высокотемпературных применений способом высокоскоростного лазерного плавления получены керамические покрытия на основе нитридов и боридов циркония (с возможным добавлением карбида кремния SiC) с жаростойкостью до 1050°C.

В целях улучшения эксплуатационных свойств покрытий при трении скольжения разработаны составы с добавлением оксидов металлов [14]. В этом случае снижение коэффициента трения достигается за счёт образования на трущихся поверхностях специального третьего тела, которое обеспечивает лёгкое скольжение даже при температурах до 500°C и высоких контактных напряжениях. Добавление оксида лития в состав покрытия позволяет резко снизить коэффициент трения скольжения без смазки, достигнуть рекордного значения 0.03 даже при малых нагрузках и температурах в зоне контакта [12].

Уникальные триботехнические результаты получены также благодаря легированию поверхности стали висмутом. Висмут, несмотря на то, что не смешивается с железом или медью даже в жидком состоянии, может быть диспергирован и внедрён в сталь с помощью короткоимпульсной лазерной обработки, при этом достигается крайне неравновесное состояние вещества [15, 16]. На рисунке 4 а показано поперечное сечение вала, легированного висмутом. Висмут появляется в стали в виде наноразмерных включений частиц металла и оксидов (рис. 4 б). Стальные валы, легированные висмутом, демонстрируют превосходную износостойкость и устойчивость к трению при отсутствии смазки и имеют сверхнизкий коэффициент трения. Переход к сверхнизкому трению происходит по двойному механизму: за счёт устранения адгезии между телами скольжения (не происходит сцепления трущихся поверхностей) и образования в результате химических реакций особых поверхностных слоёв, которые обеспечивают лёгкое скольжение при трении без смазки. В отличие от всех известных твёрдых смазок на основе дисульфида молибдена MoS2, графита и тефлона, валы из легированной висмутом стали сохраняют эффективность даже в условиях скольжения при очень высоких нагрузках, линейных скоростях и скоростях вращения, например, в турбинах.

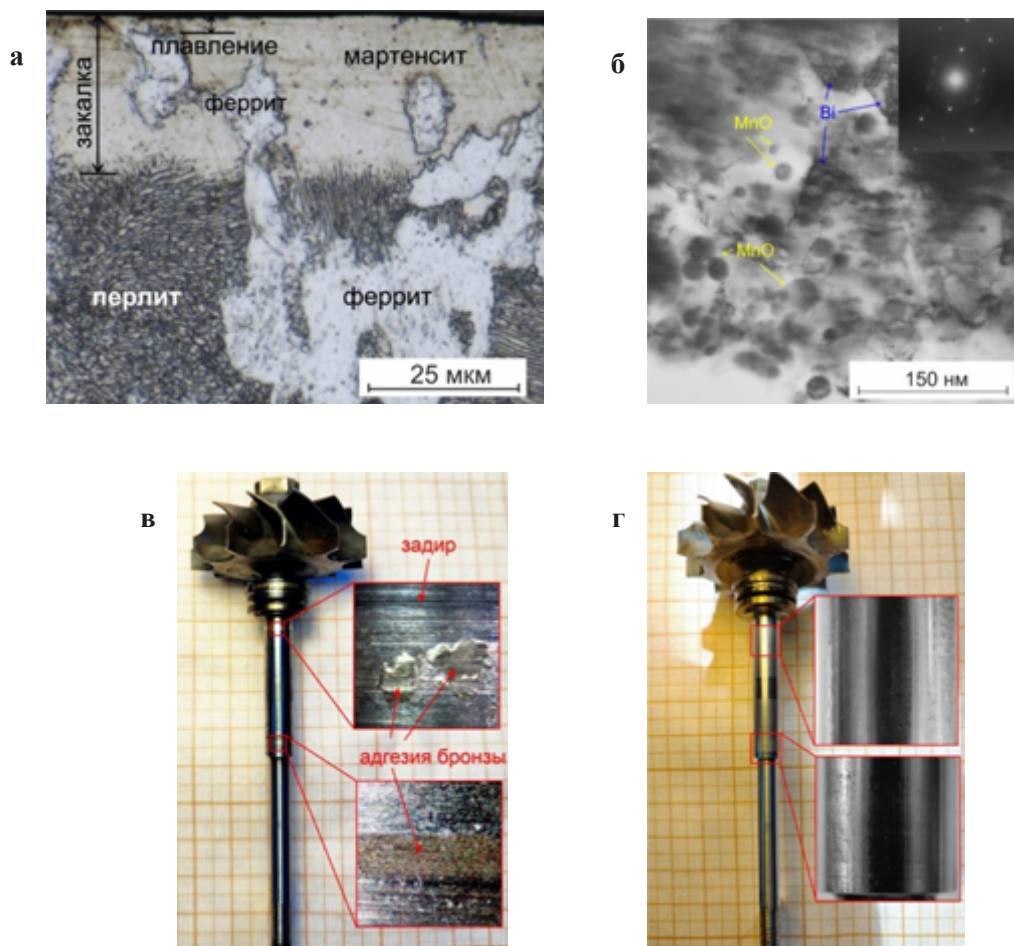


Рис. 4. Поверхностные покрытия нового поколения
 а – структура поперечного сечения поверхностного слоя стального вала, легированного висмутом, после лазерной обработки и алмазной притирки;
 б – просвечивающая электронная микроскопия и электронограмма (на вставке) микроструктуры вблизи поверхности вала; в – стальной вал турбокомпрессора в состоянии поставки после испытаний на трение скольжения с граничной смазкой при 75 000 об/мин в течение 5 циклов; г – стальной вал турбокомпрессора, легированный висмутом, после испытаний на трение скольжения без смазки при 75 000 об/мин в течение 500 циклов

Для подтверждения полученных характеристик покрытий проводили испытания турбокомпрессоров двигателя внутреннего сгорания с узлом трения "стальной вал – бронзовая втулка" [15]. Турбокомпрессор со стандартным валом (без легирования висмутом) быстро вышел из строя уже после пяти циклов испытаний в условиях граничной смазки, что привело к значительному увеличению вибрации вала. При этом на его поверхности образовались сильные повреждения в местах контакта с бронзовыми втулками, а также следы адгезионного переноса бронзы (рис. 4 в).

Испытания турбокомпрессора с валом из стали, легированной висмутом, показали возможность его длительной бесперебойной работы без смазки при скорости вращения 75 000 об/мин (линейная скорость скольжения около 32 м/с). На поверхности легированного вала даже после 500 циклов испытаний без капли смазки не выявлено каких-либо повреждений и переноса бронзы (рис. 4 г). Таким образом, легирование висмутом исключает адгезию и массоперенос между телами скольжения, обеспечивая выдающиеся антифрикционные свойства и долговременную надёжность при скольжении на высоких линейных скоростях без смазки [15].

Разработанная технология нанесения керамических сверхтвёрдых покрытий со сверхнизким коэффициентом сухого трения скольжения, основанная на новых научных принципах и обеспечивающая прорывной результат в виде многократного улучшения свойств материалов, находит применение в машиностроении, нефтегазовой и электронной промышленности. Так, период стойкости инструмента (стальных вальцов) для горячей обработки давлением металлических и керамических материалов для электронной промышленности увеличивается с нескольких дней до нескольких месяцев. При нанесении сверхтвёрдого керамического покрытия термостойкость детали клапана двигателя внутреннего сгорания сохраняется до температуры 1000°C, сопротивление окислительному и абразивному изнашиванию увеличивается на 480%, а срок службы деталей – в 10 раз. Ресурс вала гидромотора при применении технологии высокоскоростного лазерного плавления вырос на 30%, стойкость пуансонов для изготовления полимерных трубопроводов – в 100 раз, а производительность процесса – почти наполовину.

Новая технология может быть модифицирована под потребности отраслей машиностроения, авиации и космоса. Инновационный метод обработки пар трения отличается экономичностью, простотой, надёжностью и подходит для массового производства [16].

Инновационные материалы и технологии для оборудования непрерывной разливки стали.

Основным технологическим узлом машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) служит кристаллизатор (рис. 5 а). Для обеспечения качества поверхности слитков и уменьшения его износа при эксплуатации стенок (плит) из медных сплавов на их рабочую поверхность наносят защитные покрытия [17]. Доля импортозависимости в применении стенок с защитными покрытиями в 2012 г. составляла 97%, что критично для национальной безопасности. В 2022 г. с российского рынка ушли производители и поставщики плит кристаллизаторов из Германии, Италии и Японии. Следует учитывать, что импортные гальванические защитные покрытия на основе никеля и его сплавов как распространённый способ защиты рабочей поверхности медных плит кристаллизаторов не лишены серьёзных недостатков: в их числе низкая стойкость и неэкологичность, к тому же они не способны обеспечить требуемый уровень свойств для современных МНЛЗ.

В России объединёнными усилиями специалистов Института физики металлов УрО РАН, Института машиноведения УрО РАН, Уральского федерального университета, АО «НПП "Машпром"» и металлургических предприятий разработана и внедрена в промышленность инновационная технология восстано-

вительного ремонта и производства новых стенок кристаллизаторов МНЛЗ с износостойкими композиционными покрытиями [17, 18]. При этом был решён комплекс важных задач.

1. Разработаны металлокерамические порошковые смеси для износостойких покрытий на основе порошков системы легирования Ni–Cr с введением в состав карбидных (WC, Cr₃C₂, SiC, TiC), боридных (CrB₂, TiB₂) и металлических (Cr, Mo) соединений. Предложена уникальная технология роботизированного сверхзвукового газоздушного напыления покрытий (рис. 5 б) на водоохлаждаемые широкие и узкие стенки кристаллизатора (рис. 5 в, г).

2. Научно обоснована наибольшая эффективность применения композиционных покрытий с крупными упрочняющими фазами [19].

3. Разработана технология термической обработки, обеспечивающая упрочнение медного сплава, улучшение адгезии покрытия с медной основой и повышение тепло- и износостойкости покрытия в результате формирования при отжиге износостойкого каркаса из крупных карбидных и боридных частиц [20–23].

Предлагаемые композиционные покрытия обладают высокими адгезионными, антикоррозионными и триботехническими характеристиками. В ходе промышленных испытаний на металлургических предприятиях установлено, что разработанные кристаллизаторы по надёжности и ресурсу превосходят показатели аналогов от зарубежных производителей в 4–20 раз с повышением качества получаемых непрерывнолитых заготовок. Стойкость композиционных покрытий против изнашивания достигает 700 тыс. т разливаемой стали на одном межремонтном цикле [24]. Экологичность, энерго- и ресурсоэффективность производства кристаллизаторов, реализованного НПП "Машпром" в г. Нижний Тагил [17], существенно превосходит соответствующие показатели гальванического производства зарубежных компаний. Благодаря внедрению технологии на основных металлургических предприятиях России доля отечественной продукции в применении слябовых кристаллизаторов с защитным покрытием увеличена с 3% в 2012 г. до 60% к концу 2023 г., что превышает показатель, заданный Планом мероприятий по импортозамещению в отрасли тяжёлого машиностроения Российской Федерации на период до 2024 г.

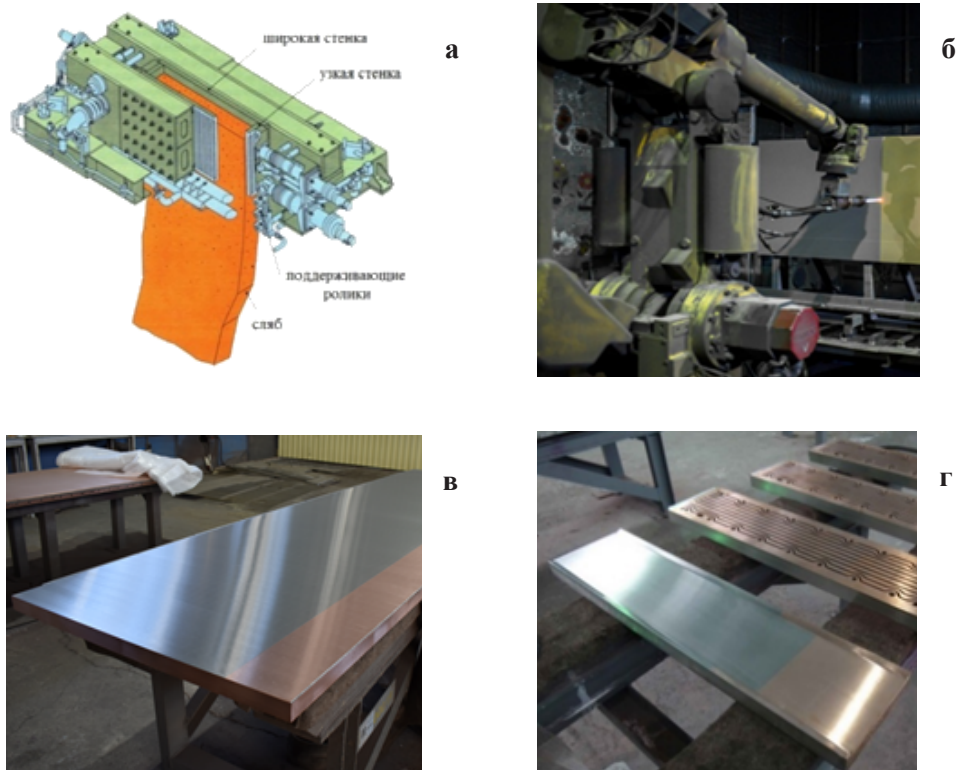


Рис. 5. Инновационная технология восстановительного ремонта и производства новых стенок кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок: конструкция кристаллизатора слябовой МНЛЗ (а); процесс роботизированного сверхзвукового газозащитного напыления покрытий (б); широкая (в) и узкие (г) стенки кристаллизатора с напылённым защитным покрытием и водоохлаждаемыми каналами

С целью продления ресурса и удешевления расходных компонентов МНЛЗ рассмотрены пути решения актуальной задачи восстановления медных плит слябовых кристаллизаторов после достижения ими минимально допустимой толщины в результате эксплуатации и ремонтов. Обоснованы преимущества восстановления плит кристаллизаторов из хромоциркониевой бронзы современным экологичным способом многопроходной плоскостной сварки трением с перемешиванием при наложении на восстанавливаемую плиту присадочной пластины из этого же материала (рис. 6 а) [24, 25].

Серией последовательных проходов вращающимся коническим инструментом из жаропрочного сплава ЖС6К (рис. 6 б) достигается однослойное или двухслойное сварное соединение (восстановленный слой бронзы толщиной соответственно ~5 и ~10 мм) (рис. 6 в) без разрывов, трещин, пор (рис. 6 г). При послойном нанесении бронзы с использованием аддитивной технологии на основе сварки трением с перемешиванием получение слоя большой толщины не требует массивного сварочного инструмента и мощного сварочного оборудования [25]. Прогрессивный способ сварки наряду с экономической эффективностью обеспечит

несомненные экологические преимущества, поскольку уменьшится потребность во вредном металлургическом производстве новых плит кристаллизаторов из медных сплавов [24].

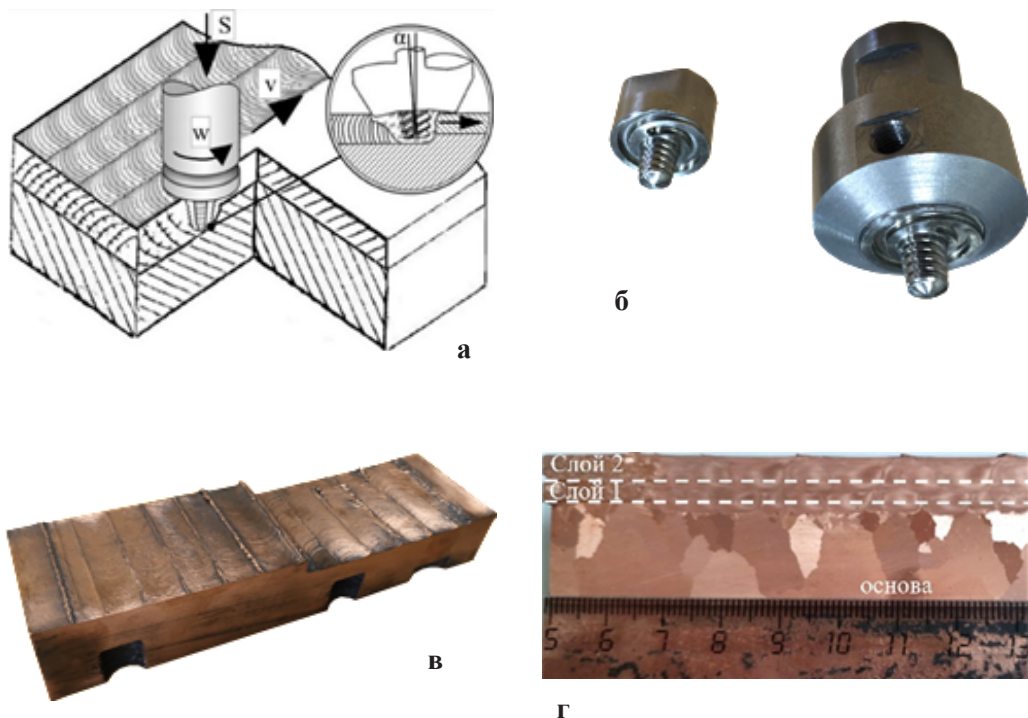


Рис. 6. Инновационная технология восстановительного ремонта стенок (плит) кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок способом плоскостной сварки трением с перемешиванием (СТП): а – схема процесса плоскостной СТП: S – нагрузка; W – скорость вращения инструмента, об/мин; V – скорость сварки, мм/мин; α – угол наклона, град; б – внешний вид сварочного инструмента из жаропрочного сплава без оправки и в оправке; в – фрагмент плиты из хромоциркониевой бронзы, восстановленной одним слоем толщиной 5 мм (справа) и двумя слоями (слева) бронзы; г – макроструктура восстановленных слоёв и основы плиты в поперечном сечении

Разработаны и реализованы инновационные кристаллизаторы с износостойкими композиционными покрытиями для всех типов МНЛЗ в производстве слябов толщиной от 90 до 400 мм со скоростями разливки 0.6–5.0 м/мин, применяемых в судостроительной, нефтегазовой, строительной и оборонной отраслях промышленности. Новые технологии внедрены на крупнейших металлургических комбинатах Российской Федерации [17]. Отливаемые слябы используются в получении толстого листа для труб большого диаметра, в том числе по заказам Газпрома и Транснефти для газопроводов "Турецкий поток", "Южный коридор", "Сила Сибири" и других. Суммарный экономический эффект за 2019–2023 гг. превысил 30 млрд руб.

Перспективы направления связаны с разработкой технологии лазерной наплавки композиционных износостойких покрытий на медные плиты. Это позволит ре-

шить актуальную задачу снижения себестоимости процесса нанесения покрытия за счёт повышения производительности и коэффициента использования порошка до 95–97%, улучшит адгезию покрытия с медной основой, качество покрытий и их свойства, а также расширит применение тугоплавких материалов. Однако активный переход на современные лазерные технологии ограничивается низким коэффициентом поглощения бронзой (~10%) излучения мощных технологических лазеров с длиной волны $\lambda=1064$ нм. Скачкообразный рост коэффициента поглощения до 50–55% наблюдается для лазерного излучения видимого диапазона ("зелёный" лазер с $\lambda=515$ нм и "синий" лазер с $\lambda=450$ нм) [26]. Эти факторы определяют потребность в развитии производства в России ультракоротковолновых технологических лазеров.

Перспективные базовые наукоёмкие технологии невозможно купить, их можно только создать и развивать. Технологический суверенитет и комплексная безопасность государства определяются степенью технологической независимости объектов его критической инфраструктуры и способностью самостоятельно создавать и выпускать высокотехнологичную продукцию, необходимую для достижения стратегических целей развития. Ещё раз подчеркнём: всё это невозможно без серьёзного научного задела и использования перспективных научных разработок, что определяет возрастающую координирующую роль РАН и потребность в укреплении кооперации научных организаций и предприятий реального сектора экономики Российской Федерации.

Литература

1. Каблов Е.Н., Антипов В.В. Роль материалов нового поколения в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации // Вестник РАН. 2023. Т. 93. № 10. С. 907–916.

Kablov E.N., Antipov V.V. The role of new generation materials in ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2023. V. 93. № 10. P. 907–916. (In Russ.)

2. Гончаров Б.Э., Сипатов А.М., Черкашнева Н.Н. и др. Исследование высокотемпературной термостойкости антиокислительного покрытия для керамического композиционного материала с многослойной структурой // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4(65). С. 51–58.

Goncharov B.E., Sipatov A.M., Cherkashneva N.N. et al. Studies of thermal shock resistance of an anti-oxidation coating for a multi-layered ceramic composite // Aviation Materials and Technologies. 2021. V. 65. № 4. P. 51–58. (In Russ.)

3. Мулюков Р.Р., Иноземцев А.А., Чинейкин С.В. и др. Патент Российской Федерации № 2777775. Интерметаллидный сплав на основе γ -TiAl фазы для изготовления лопаток турбины низкого давления газотурбинного двигателя и способ изготовления заготовки лопатки из интерметаллидного сплава на основе γ -TiAl фазы // Бюл. № 22. Оpubл. 09.08.2022.

Mulyukov R.R., Inozemtsev A.A., Chinejkin S.V. et al. RF Patent No. 2777775. Intermetallic alloy based on the γ -TiAl phase for the manufacture of a low-pressure

turbine blade of a gas turbine engine and a method for manufacturing a blade blank from an intermetallic alloy based on the γ -TiAl phase // ВИМР. № 22. Publ. 09.08.2022.

4. Бойко А.В., Демьянко К.В., Иноземцев А.А. и др. Определение положения ламинарно-турбулентного перехода при численном моделировании обтекания пластины дозвуковыми и трансзвуковыми потоками // Теплофизика и аэромеханика. 2019. Т. 26. № 5. С. 675–683.

Boiko A.V., Demyanko K.V., Inozemtsev A.A. et al. (2019). Determination of the laminar-turbulent transition location in numerical simulations of subsonic and transonic flows past a flat plate // Thermophysics and Aeromechanics. 2019. V. 26. №. 5. P. 629–637. (In Russ.)

5. Boiko A.V., Demyanko K.V., Kirilovskiy S.V. et al. Modeling of transonic transitional three-dimensional flows for aerodynamic applications // AIAA Journal. 2021. V. 59. Is. 9. P. 3598–3610.

6. Прохоров А.Е., Вшивков А.Н., Гачегова Е.А., Плехов О.А. Использование метода лазерной ударной проковки в целях увеличения усталостного ресурса металлических материалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2022. Т. 88. № 1(1). С. 92–97.

Prokhorov A.E., Vshivkov A.N., Gachegova E.A., Plekhov O.A. Experimental implementation of the laser shock peening method aimed at an increase in the fatigue properties of metals. Industrial laboratory // Industrial Laboratory. Diagnostics of materials. 2022. V. 88. № 1(I). P. 92–97.

7. Из морских глубин – в глубины космоса / Под общ. ред. В.Г. Дегтяря. Миасс: ГРЦ Макеева, 2011.

From Deep Sea to Outer Space / Under general editorship of Degtyar V.G. Miass: JSC Makeyev Design Bureau, 2011.

8. Дегтярь В.Г., Данилкин В.А., Телицын Ю.С. и др. Патент Российской Федерации № 2309089. Способ возвращения на космодром многоразовой первой ступени ракеты // Бюл. № 30. Оpubл. 27.10.2007.

Degtyar V.G., Danilkin V.A., Telitsyn Ju.S. et al. RF Patent No. 2309089. Method of return of non-expendable first stage of rocket to cosmodrome // ВИМР. № 30. Publ. 27.10.2007. (In Russ.)

9. Дегтярь В.Г., Калашников В.Н., Мочалов Е.Н., Слета А.В. Патент Российской Федерации № 2678616. Способ использования многоразовой первой ступени ракеты-носителя // Бюл. № 4. Оpubл. 30.01.2019.

Degtyar V.G., Kalashnikov V.N., Mochalov E.N., Sleta A.V. RF Patent No. 2678616. Method of using the reusable first stage of a launch vehicle // ВИМР. №. 4. Publ. 30.01.2019. (In Russ.)

10. Дегтярь В.Г., Вавилин А.В., Маханьков С.А., Молчанов С.Ф. Вопросы создания многоразовой одноступенчатой ракеты-носителя КОРОНА. Продолжение работ. XLIV академические чтения по космонавтике, посвящённые памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных учёных – пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов. Москва 28–31 января 2020 года: в 2 т. Т. 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. С. 46–48.

Degtiar V.G., Vavilin A.V., Makhankov S.A., Molchanov S.F. On the development of a reusable one-stage KORONA launch vehicle. Continuation of works. – Abstracts

of XLIV Academic Space Conference dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding national scientists – pioneers of space exploration. Moscow January 28–31, 2020: in 2 vol. V. 1. M.: Publishing house of Bauman MSTU, 2020. P. 46–48. (In Russ.)

11. Вавилин А.В., Усолкин Ю.Ю., Фетисов В.А. Патент Российской Федерации № 2309088. Одноступенчатая многоразовая ракета-носитель вертикального взлёта и посадки // Бюл. № 30. Оpubл. 27.10.2007.

Vavilin A.V., Usolkin Yu.Yu., Fetisov V.A. RF Patent No. 2309088. Non-expendable single-stage vertical takeoff and landing launch vehicle // BIMP. № 30. Publ. 27.10.2007. (In Russ.)

12. Kharanzhevskiy E., Ipatov A., Krivilyov M. et al. Ultralow friction behaviour of B4C-BN-MeO composite ceramic coatings deposited on steel // Surface and Coatings Technology. 2020. V. 390. P. 125664.

13. Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Makarov A.V. et al. Tribological performance of boron-based superhard coatings sliding against different materials // Wear. 2021. V. 477. P. 203835.

14. Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Makarov A.V. et al. Effect of oxygen in surface layers formed during sliding wear of Ni–ZrO₂ coatings // Surface and Coatings Technology. 2022. V. 434. P. 128174.

15. Kharanzhevskiy E.V., Ipatov A.G., Makarov A.V., Gil'mutdinov F.Z. Towards eliminating friction and wear in plain bearings operating without lubrication // Scientific Reports. 2023. V. 13. P. 17362.

16. Понизовкина Е. Износа не будет. Уральские специалисты близки к прорыву в трибологии // Поиск. 2023. № 48(1798). С. 16.

Ponizovkina E. No wear and tear. Ural specialists are close to a breakthrough in tribology // Poisk. 2023. №. 48(1798). P. 16. (In Russ.)

17. Котельников А.Б., Вопнерук А.А., Макаров А.В. и др. Новые материалы и технологии существенного повышения износостойкости рабочей поверхности металлургического оборудования // Тяжёлое машиностроение. 2018. № 9. С. 14–20.

Kotelnikov A.B., Vopneruk A.A., Makarov A.V. et al. New materials and technologies for significantly increase the wear resistance of the working surface of metallurgical equipment // Heavy engineering. 2018. V. 9. P. 14–20. (In Russ.)

18. Кушнарёв А.В., Киричков А.А., Вопнерук А.А. и др. Физико-механические характеристики газотермических покрытий стенок кристаллизатора машин непрерывного литья заготовок // Сварка и диагностика. 2017. № 5. С. 50–53.

Kushnarev A.V., Kirichkov A.A., Vopneruk A.A. et al. Physico-mechanical characteristics of thermal spray coatings of the mold copper plates of continuous casting machines // Welding and diagnostics. 2017. V. 5. P. 50–53. (In Russ.)

19. Макаров А.В., Соболева Н.Н., Малыгина И.Ю. Роль упрочняющих фаз в сопротивлении абразивному изнашиванию NiCrBSi покрытий, сформированных лазерной наплавкой // Трение и износ. 2017. Т. 38. № 4. С. 311–318.

Makarov A.V., Soboleva N.N., Malygina I.Yu. Role of the strengthening phases in abrasive wear resistance of laser-clad nicrbsi coatings // Journal of Friction and Wear. 2017. V. 38. №. 4. P. 272–278.

20. Макаров А.В., Соболева Н.Н., Малыгина И.Ю., Осинцева А.Л. Патент Российской Федерации № 2492980. Способ получения теплостойкого покрытия // Бюл. № 26. Оpubл. 20.09.2013.

Makarov A.V., Soboleva N.N., Malygina I.Ju., Osintseva A.L. RF Patent No. 2492980. Method of producing heat-resistant coating // ВИМП. №. 26. Publ. 20.09.2013.

21. Макаров А.В., Соболева Н.Н., Малыгина И.Ю., Осинцева А.Л. Формирование износостойкого хромоникелевого покрытия с особо высоким уровнем теплостойкости комбинированной лазерно-термической обработкой // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 3. С. 39–46.

Makarov A.V., Soboleva N.N., Malygina I.Yu., Osintseva A.L. Formation of wear-resistant chromium-nickel coating with extra high thermal stability by combined laser-and-heat treatment // Metal Science and Heat Treatment. 2015. V. 57. № 3–4. P. 161–168.

22. Makarov A.V., Soboleva N.N., Malygina I.Yu., Kharanzhevskiy E.V. Improving the properties of a rapidly crystallized NiCrBSi laser clad coating with high-temperature processing // Journal of Crystal Growth. 2019. V. 525. P. 125200.

23. Makarov A.V., Korobov Yu.S., Soboleva N.N. et al. Wear-resistant nickel-based laser clad coatings for high-temperature applications // Letters on Materials. 2019. V. 9. No. 4. P. 470–474.

24. Макаров А.В., Лежнин Н.В., Котельников А.Б. и др. Восстановление стенок кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок из хромоциркониевой бронзы методом многопроходной сварки трением с перемешиванием // Известия вузов. Цветная металлургия. 2023. Т. 29. № 6. С. 66–83.

Makarov A.V., Lezhnin N.V., Kotelnikov A.B. et al. Restoration of continuous casting machine mold copper plates made of Cr-Zr bronze using multi-pass friction stir lap welding // Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy. 2023. V. 29. № 6. P. 66–83. (In Russ.)

25. Лежнин Н.В., Макаров А.В., Валиуллин А.И. и др. Применение аддитивной технологии на основе сварки трением с перемешиванием для восстановления исходной геометрии изношенных плит кристаллизаторов МНЛЗ // Тяжёлое машиностроение. 2023. № 11–12. С. 26–33.

Lezhnin N.V., Makarov A.V., Valiullin A.I. et al. The use of additive technology based on friction stir welding to restore the original geometry of worn plates of the CCM casting mold // Heavy engineering. 2023. № 11–12. P. 26–33. (In Russ.)

26. Tang X., Chen X., Sun F. et al. The current state of CuCrZr and CuCrNb alloys manufactured by additive manufacturing: A review // Materials & Design. 2022. V. 224. P. 111419.

27. О работе Уральского отделения РАН в 2022 году. Выступление председателя Уральского отделения РАН академика РАН В.Н. Руденко // Вестник РАН. 2023. Т. 93. № 8. С. 752–757.

On the activities of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences in 2022. Speech by the chairman of the Ural branch of the RAS, RAS academician V.N. Rudenko // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2023. V. 93. № 8. P. 752–757. (In Russ.)

ДОКЛАД

АКАДЕМИКА РАН В.А. СЕМЕНОВА

«ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА: ПРИЧИНЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ, АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ»

Глобальные изменения климата и их особенности на территории России

Климат Земли быстро меняется на протяжении последнего столетия. С начала XX в. глобальная приповерхностная температура воздуха выросла на 1.2°C [1]. При этом над сушей изменения происходят примерно в 2 раза быстрее, чем над океанами, что связано с большей тепловой инерцией океанов и переносом водяного пара с них на континенты [2]. Современные значения глобальной температуры рекордно высоки за как минимум последние 2000 лет согласно данным палереконструкций [3, 4]. Принципиально важно, что наблюдаемые за последние 100 лет темпы роста температуры в несколько раз превышают скорость изменений климата за аналогичные промежутки времени во втором тысячелетии нашей эры. Стоит отметить, что основной прирост температуры пришёлся на последние десятилетия, только за 1976–2020 гг. глобальная температура выросла на 0.8°C [1]. Особенно быстро температура повышалась в Северной полярной области, где за 30 лет (1991–2020) рост среднегодовой температуры составил 2.6°C .

Глобальное потепление сопровождается подъёмом уровня океана (на 20 см с 1901 г.) вследствие термического его расширения и таяния ледников суши. При этом темпы подъёма уровня океана в конце XX в. ускорились почти в 2 раза по сравнению с предшествующими десятилетиями, с начала 1990-х годов уровень поднялся более чем на 9 см [1]. В летний период резко сокращается площадь арктических морских льдов (примерно на 12% за десятилетие на протяжении последних 40 лет) [5]. В результате наблюдаемая в сентябре площадь арктических морских льдов сократилась почти в 2 раза относительно значений конца 1970-х годов, что, по всей видимости, беспрецедентно за последние 400 лет [6]. Значимо уменьшается объём большинства горных ледников [7], растёт температура верхнего слоя многолетней мерзлоты и глубина её сезонного протаивания [8]. Вследствие изменений градиентов температуры, областей нагрева и охлаждения атмосферы и океана трансформируется характер циркуляции последних. Изменяются также солёность океана, приповерхностные ветровые потоки.

При потеплении климата увеличивается число экстремальных погодных явлений [9]. Повышение средней приземной температуры воздуха и изменения атмосферной циркуляции приводят к росту частоты и интенсивности волн жары в атмосфере практически во всех регионах планеты, на суше подобные явления со-

проводятся засухами и природными пожарами [10, 1]. Увеличивается количество осадков и влагоёмкость атмосферы, что приводит к повышению интенсивности осадков над сушей и в целом к интенсификации гидрологического цикла [11]. Важно, что изменения уровня осадков характеризуются пространственной неоднородностью. Например, вследствие отклика атмосферной циркуляции на потепление он растёт в средних и высоких широтах Северного полушария и уменьшается в субтропических регионах. Интенсификация гидрологического цикла, рост влагосодержания атмосферы и снижение статической устойчивости приводят к росту экстремальности осадков во многих регионах с одновременным учащением экстремальных явлений конвективного характера – сильных ливней, шквалов, торнадо [12]. Такие особенности изменений уровня осадков при глобальном потеплении в целом были выявлены более 20 лет назад на основе анализа данных численных экспериментов с моделями климата [13]. При этом, как показывают недавние исследования, зависимость роста температуры от интенсивности осадков может быть существенно нелинейной [14].

Изменения климата на территории России имеют ряд важных особенностей. Повышение температуры здесь происходит в 2.5 раза быстрее, чем в среднем по планете [1], что связано с эффектом арктического усиления глобального потепления [15]; он вызван наличием положительных обратных связей в климатической системе, усиливающих отклик климата на внешние воздействия в высоких широтах [16]. Огромность территории России предопределяет существенные различия тенденций изменения климата в её регионах, с чем связана, в частности, наблюдаемая разнонаправленная динамика осадков в тёплый период года, когда в северных регионах отмечается тенденция к повышению их уровня, а в южных – к понижению [17].

Высокая изменчивость атмосферной циркуляции в средних и высоких широтах Северного полушария, а также преобладающая континентальность климата России обуславливают большую амплитуду межгодовых вариаций температуры на фоне долгопериодной тенденции к потеплению и, как следствие, низкую предсказуемость погодно-климатических аномалий. Две трети территории страны расположено в зоне вечной мерзлоты и в границах сезонного снежного покрова. Трансформация ландшафтов, заболачивание, быстрое разрушение берегов Российской Арктики при потеплении также относятся к важным особенностям трансформации природной среды нашей страны [18–20].

Причины изменений климата

Что же служит причиной глобальных изменений климата? Научно обоснованный ответ на этот вопрос специалистам удалось найти в 1970-х годах, когда стал очевиден рост концентрации парниковых газов в атмосфере, прежде всего углекислого газа вследствие сжигания человеком ископаемого топлива. Потепление вызывает так называемый парниковый эффект – способность некоторых газов поглощать инфракрасное излучение земной поверхности и переизлучать его во всех направлениях, в том числе обратно к поверхности, таким образом увеличивая приток энергии к Земле и разогревая её [21]. Группой учёных во главе с япон-

ско-американским климатологом С. Манабе на основе численных экспериментов с моделью общей циркуляции атмосферы были получены первые оценки изменения приземной температуры воздуха при удвоении концентрации углекислого газа в атмосфере¹ [22] (позднее они подтвердились как данными наблюдений, так и результатами более совершенных моделей климата [23, 24]). В те же 1970-е годы выдающийся советский климатолог академик М.И. Будыко получил схожие по величине оценки [25]. Следует отметить, что в 1950–1970-х годах был период, когда вследствие суперпозиции внутренних вариаций климата и потепления, вызванного ростом концентрации парниковых газов, глобальная температура не росла, а в высоких широтах Северного полушария падала. Несмотря на это М.И. Будыко утверждал, что потепление неизбежно продолжится, и оказался прав.

На чём основана уверенность в преобладающем антропогенном характере глобального потепления на масштабе 100 лет? Количество рецензируемых научных работ по тематике изменений климата и смежных дисциплин достигает в настоящее время нескольких десятков тысяч в год. Ввиду важности проблемы, её глобального характера, значительных происходящих и ожидаемых негативных последствий Всемирная метеорологическая организация и ООН в 1988 г. создали Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК) для обобщения состояния знаний в этой области на основе экспертной оценки исследований по климатической тематике [26]. В группу экспертов входят представители более 100 стран, в том числе и специалисты по климату из России, сотрудники учреждений Росгидромета и РАН. Каждые 5–8 лет МГЭИК публикует доклады, содержащие аналитический обзор рецензируемой научной литературы с итоговыми выводами и резюме для политиков. Аналогичные оценочные доклады об изменении климата начиная с 2008 г. публикует и Росгидромет. В конце 2022 г. обнародован Третий оценочный доклад Росгидромета. Выводы профильных специалистов в области изменений климата однозначны: "Не вызывает сомнений, что разогрев атмосферы, океана и суши произошёл под влиянием человека" [27]. Ситуация, когда человек оказался в состоянии влиять на глобальный климат, беспрецедентна в истории Земли и может означать начало новой эпохи – антропоцена [28].

В качестве аргументов в пользу научных результатов, указывающих на важную роль антропогенного воздействия в глобальном потеплении последних 100 лет, приведём следующие факты.

1. Рост почти на 50%, с 280 до 420 частей на миллион (ч.н.м.), содержания углекислого газа в атмосфере вызван именно антропогенной эмиссией, о чём свидетельствует изменение изотопного состава углерода в атмосфере [29]; углерод в ископаемом топливе содержит очень малое количество тяжёлых изотопов по сравнению с атмосферным "природным" углеродом.

2. Данные о составе атмосферы, полученные на основе анализа замороженных пузырьков воздуха в кернах антарктического ледника на станции "Восток"

¹За эти работы С. Манабе (совместно с немецким физиком и метеорологом К. Хассельманом) был удостоен Нобелевской премии по физике 2021 г.

и в рамках проекта EРІСА [30, 31], позволили получить данные о концентрации парниковых газов за последние 800 000 лет. На протяжении восьми ледниковых циклов рост концентрации CO₂ ограничивался диапазоном 170–300 ч.н.м и лишь в последние 100 лет его содержание возросло, как упомянуто выше, с 280 до 420 ч.н.м., что резко отличается от предшествующих вариаций. Современный рост беспрецедентен по своим темпам. Такие изменения за столь короткий срок могут быть объяснены только антропогенным воздействием.

3. Наблюдаемая пространственная структура отклика температуры атмосферы (рост температуры в тропосфере и её падение в стратосфере и мезосфере) [32] соответствует радиационному воздействию вследствие роста содержания парниковых газов. Другие внешние воздействия, например солнечная или вулканическая активность, потоки тепла из океана или от суши, не приводят к таким контрастным тенденциям вертикального отклика температуры [33].

4. Спутниковые данные (начиная с 2000 г.), позволившие инструментально оценить величину дисбаланса энергии на верхней границе атмосферы вследствие роста концентрации углекислого газа [34], совпали с теоретическими результатами численных моделей, на которых основаны оценки антропогенного вклада в современные изменения климата и сценарии его изменений в будущем.

5. Модели Земной системы, успешно воссоздающие основные характеристики климата, циркуляцию атмосферы, океана и морских льдов, гидрологический цикл, отображают изменения глобальной температуры в последние 150 лет только при учёте антропогенного воздействия на климат. Если же в расчёт брать лишь внешние естественные воздействия (вулканическую и солнечную активность), наблюдаемый в реальности рост температуры в моделях не отражается [35].

Временные масштабы, последствия изменений климата и вопросы прогнозирования

Для понимания причин климатических изменений важно учитывать разнообразие их временных масштабов, что связано с факторами внешнего воздействия на климат и его внутренней изменчивости. Динамика атмосферы и океана, деятельного слоя суши приводит к квазипериодическим трансформациям климата на масштабах от сотен лет до межгодовых вариаций. Глубинная циркуляция океана, динамика ледников могут формировать циклы длительностью в тысячи и десятки тысяч лет [36]. Геологические факторы, такие как движение континентов, субдукция и спрединг земной коры, дифференциация мантийного вещества, выветривание пород суши и связанные с этими процессами изменения состава атмосферы и уровня океана, обуславливают трансформации климата на масштабах от нескольких миллионов до миллиардов лет [37]. В ледниковых циклах диапазон изменений глобальной температуры составлял около 10 С. По предположительным оценкам, за последние 500 млн лет она варьировала в диапазоне 30–40°С. Важно, что эти изменения происходили на масштабах от нескольких тысяч лет до нескольких миллионов, тогда как современные изменения произошли за 100 лет – мгновение в геологической истории Земли и очень короткий временной промежуток на масштабах ледниковых циклов.

Некоторые циклы внутренней изменчивости океана и атмосферы проявляются на масштабах от нескольких лет до нескольких десятилетий и могут приводить к заметным изменениям глобальной температуры (на 0.2–0.5 С) [38]. Крупные вулканические извержения в исторический период приводили к отрицательной аномалии температуры поверхности до 0.5 С длительностью 1–2 года. Факторы внутренней изменчивости и естественного внешнего воздействия на климат (рассматривается лишь период инструментальных наблюдений – последние 150 лет) способны формировать значимые аномалии климата на масштабах от года до нескольких десятков лет. С ростом рассматриваемого периода изменений от 60 лет и больше вклад этих циклов и коротких аномалий в долгопериодный климатический тренд становится малым и определяющую роль начинает играть антропогенное воздействие на климат [39].

В Общем резюме Третьего оценочного доклада Росгидромета указывается: "Проявления изменений климата на территории Российской Федерации характеризуются впечатляющим многообразием и неоднозначностью последствий для природной среды, экономики и населения нашей страны. Для России важен весь комплекс угроз, рисков и возможностей, обусловленных наблюдаемыми и ожидаемыми климатическими изменениями, что вносит специфические особенности в политику Российской Федерации в области климата как на федеральном, так и на региональном уровнях и что в определённой мере отличает нашу страну от большинства стран мира". Для России изменения климата имеют как негативные, так и позитивные последствия [40].

К числу значимых негативных последствий относятся ущерб от опасных погодно-климатических явлений, участвовавших при глобальном потеплении, – природных пожаров, почвенных засух, маловодности рек в южных регионах России, деградации вечной мерзлоты, связанной с рисками для построенной на многолетнемёрзлых грунтах инфраструктуры [41, 42], выхода климатических характеристик за принятые в строительных нормах диапазоны. Повышение глобальной температуры усиливает риски негативного влияния этого фактора на здоровье населения, в том числе из-за волн жары и загрязнения атмосферы [43–45]. Следует также иметь в виду, что современная техника и инфраструктура становятся более сложными, требуют тонкой настройки и более чувствительны к климатическим параметрам.

К положительным последствиям можно отнести сокращение площади арктических морских льдов, что облегчит добычу полезных ископаемых на арктическом шельфе и приведёт к увеличению продолжительности безлёдной навигации по Северному морскому пути [46, 47]. Возрастёт объём стока северных рек как источника пресной воды и гидроэнергии, ослабнет холодовой стресс, уменьшится температурный контраст зима–лето, сократится отопительный сезон [1].

При этом важно учитывать, что продолжающееся потепление в будущем может изменить характер ожидаемых последствий. Например, дальнейшее сокращение морских льдов в Арктике и устойчивый безлёдный режим за пределами российской экономической зоны откроют возможность прохода судов иностранных государств через Северный Ледовитый океан, что может представлять потенциальную угрозу военной, экономической и экологической безопасности России.

Очевидно, что для снижения рисков негативных последствий изменений климата и использования выгод от положительных последствий необходимо своев-

ременно принимать меры адаптации [48, 49], для чего требуется разработка прогнозов с оценкой диапазона их неопределённости. Учёт возможных изменений климатических факторов критически важен при планировании устойчивого развития российских регионов на горизонте 10–20 лет и более.

Источником информации о возможных изменениях климата в будущем служат численные модели Земной системы, которых в настоящее время в мире насчитывается около 50. В них используются сценарии изменений антропогенной эмиссии парниковых газов и аэрозолей в атмосферу, что зависит от темпов роста и характера мировой экономики, увеличения населения Земли, предпринимаемых усилий по снижению антропогенных выбросов. Результаты множества моделей обобщаются и верифицируются с использованием статистических методов в рамках специальных проектов, позволяющих сузить диапазон неопределённости получаемых прогнозов [50]. В Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН активно развивается национальная модель Земной системы, участвующая в международных проектах сравнения моделей климата [51]. В Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН разрабатывается модель Земной системы промежуточной сложности – с её помощью можно проводить численные эксперименты, позволяющие моделировать климатические процессы на временных интервалах в тысячи лет, в том числе с учётом интерактивных биогеохимических процессов [52].

Наиболее реалистичные сценарии антропогенного воздействия приводят к выводу, что концу XXI в. глобальная температура повысится на 3–5°C, количество осадков над сушей возрастёт на 4–8% относительно современных значений. Важно, что рост глобальной температуры и уровня осадков в ближайшие два десятилетия мало зависит от выбранного сценария антропогенной эмиссии и составляет, соответственно, около 0.6°C и 1.5%, что примерно соответствует изменениям в последние 20 лет [1]. Таким образом, современные глобальные трансформации можно линейно экстраполировать на ближайшее будущее.

Важно, что региональные климатические изменения могут существенно отличаться от глобальных, в том числе и качественно, вследствие влияния факторов внутренней изменчивости климата (например, квазициклические изменения океанической циркуляции с периодами 30–60 лет). Учёт этих факторов может существенно повысить достоверность сценарных прогнозов. В последние 15 лет активно развивается такое направление, как десятилетний прогноз, учитывающий внутреннюю динамику климата и её начальные условия, что позволяет точнее прогнозировать изменения климата во многих регионах [53].

Наука о климате и её задачи

Наука о климате представляет собой один из разделов наук о Земле. Являясь главным образом частью геофизики, она обладает рядом важных особенностей. Первейшая из них – мультидисциплинарность [54], связанная со сложностью объекта исследования (в формировании климата активно участвует Земная климатическая система, состоящая из атмосферы, океана, криосферы, литосферы и биосферы), а также существенным влиянием изменений климата на окружающую

среду, жизнедеятельность человека, экономику, инфраструктуру, а в последнее время на геополитику и даже мораль современного общества [55].

Для профессионального понимания динамики климата учёный должен обладать профильным образованием, представлением об основных механизмах изменчивости климата, о динамике климатической системы на разных масштабах, опытом решения научных задач в этой области. Показатель уровня компетенции исследователя – защищённые диссертации, публикации в рецензируемых научных журналах соответствующего профиля и, конечно, опыт работы в этой сфере, тесно связанный с количеством и качеством публикаций. Считаю важным подчеркнуть, что проблемы изменений климата должны обсуждаться компетентными специалистами. Политизированность обсуждения этих проблем и широкий общественный интерес к ним привлекают внимание учёных из других областей науки, не имеющих специализированных знаний и опыта исследований в науке о климате. Часто, ввиду значительности заслуг и достижений в своей области знаний, мнение неспециалистов в вопросах изменений климата выдаётся за альтернативное общепринятому в научном сообществе климатологов.

Выводы специалистов о ведущей роли антропогенных воздействий в глобальных трансформациях климата последних десятилетий, основанные на всесторонней диагностике и моделировании природных процессов, никак не связаны с их позицией по вопросам "зелёной энергетики", углеродного регулирования, по другим экономическим и политическим инициативам. Эти выводы – результат естественно-научных исследований и публикаций в рецензируемых научных журналах.

Все ведущие отечественные учёные-климатологи отмечают, что изменения климата несут для России как негативные, так и позитивные последствия, а также указывают на необходимость взвешенного подхода к этим изменениям с учётом траектории экономического развития страны, где на первом месте должны быть устойчивое развитие и рост благосостояния граждан. Регулирование российской экономики, в том числе в рамках международных соглашений в области климата, равно как и принятие таких соглашений, должны осуществляться на основе принципа абсолютного приоритета национальных интересов в условиях глобализации и серьёзных геополитических вызовов. А решение задач науки о климате, в том числе выявления механизмов современных и прогноза будущих изменений климата, – фундаментальная проблема физики атмосферы и океана, которая должна решаться специалистами на основе накопленных знаний и новых экспериментальных и теоретических исследований, результаты которых доказали свою достоверность.

Нередко встречающаяся при общественном обсуждении климатической повестки искусственная дихотомия "сторонники антропогенного потепления как проводники западной политики" и "сторонники естественных факторов изменения климата как защитники национальных интересов", с одной стороны, препятствует конструктивному обсуждению научных вопросов, переводя дискуссию в политическую плоскость, а с другой – создаёт прямую угрозу национальной безопасности страны при обсуждении, обосновании и принятии стратегических решений в области политики и экономики, дискредитируя с использованием политических ярлыков консолидированную позицию специалистов и противопоставляя ей аргументы, не прошедшие научной экспертизы.

В настоящее время главными задачами, стоящими перед наукой о климате и имеющими важное практическое значение, являются:

- разработка сценарных прогнозов изменений климата в будущем с высокой детальностью и оценкой их неопределённости на горизонте 20–50 лет;
- региональные прогнозы состояния климата с учётом его внутренней изменчивости (десятилетний прогноз) на масштабах 10–20 лет;
- мониторинг состояния климата, в том числе выявление тенденций изменений и оценка статистических распределений климатических характеристик;
- оценка рисков опасных погодно-климатических явлений, сезонный и межгодовой прогноз погодно-климатических аномалий;
- оценка последствий изменений климата для окружающей среды и человека.

Для решения указанных задач необходимы фундаментальные исследования механизмов изменчивости климата на разных пространственных и временных масштабах, выявление относительной роли антропогенных факторов, внутренней естественной изменчивости и внешнего естественного воздействия. Необходимо создание новых и совершенствование существующих глобальных численных моделей Земной системы и региональных моделей климата. Требуется развитие методов прогноза погоды и климата на разных временных масштабах, методов диагностики и статистического анализа данных наблюдений и результатов численного моделирования. Критически важно получать инструментальные данные о состоянии Земной системы, в том числе океанографические и спутникового мониторинга, развивать сеть станционных наблюдений, совершенствовать методы получения и обработки массива информации, полученной инструментальными методами.

На наш взгляд, следует расширить взаимодействие и объединить усилия Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук, часто работающих над общими проблемами, в том числе прогноза погоды и климата. Этому может способствовать создание межведомственного климатического центра Росгидромета и РАН с определением основных направлений и координацией работ по ним.

Критически важно качественно расширить суперкомпьютерные ресурсы, доступные для климатических исследований. Во всех ведущих странах существуют суперкомпьютерные центры, специализирующиеся на моделировании и прогнозе климата. Создание такого центра под руководством РАН позволило бы существенно активизировать научные исследования и получать более детальные и достоверные результаты в области диагностики и прогнозирования изменений климата.

Важно поддерживать и развивать ведущие научные школы в области физики атмосферы, океана, климата, усилить взаимодействие институтов РАН с профильными кафедрами вузов, обеспечить приток новых квалифицированных молодых учёных и обеспечить их поддержку.

Крайне необходимо увеличить финансирование экспедиционных исследований, в том числе морских экспедиций, развивать существующие и создавать новые научные стационары, занимающиеся наблюдениями за климатическими процессами.

Успешным опытом организации мультидисциплинарных исследований в области климата была Программа фундаментальных исследований президиума РАН "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования". Возобновление этой программы с определением новых задач и

участников под эгидой Научного совета РАН по проблемам климата Земли будет способствовать координации исследований, усилит взаимодействие научных коллективов, позволит сформулировать и решить актуальные задачи в области изменений климата и адаптации к ним.

Автор выражает благодарность академикам РАН В.Г. Бондуру, И.И. Мохову, Б.Н. Порфирьеву, члену-корреспонденту РАН А.А. Макоско, докторам физико-математических наук, профессорам РАН А.С. Грицуноу, А.В. Елисееву, кандидату физико-математических наук А.В. Чернокульскому и кандидату географических наук М.А. Алешиной за полезные обсуждения и помощь в подготовке статьи.

Литература

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Под ред. В.М. Катцова. СПб.: Научноёмкие технологии, 2022.

The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation / Ed. by V.M. Kattsov. St.Petersburg.: Science-intensive technologies, 2022. (In Russ.)

2. Dommenget D. The Ocean's Role in Continental Climate Variability and Change // *J. Climate*. 2009. V. 22. P. 4939–4952.

3. PAGES 2k Consortium. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era // *Nat. Geosci.* 2019. V. 12. P. 643–649.

4. Neukom R., Steiger N., Gómez-Navarro J.J. et al. No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era // *Nature*. 2019. V. 571. P. 550–554.

5. Matveeva T.A., Semenov V.A. Regional features of the Arctic sea ice area changes in 2000–2019 versus 1979–1999 periods // *Atmosphere*. 2022. V. 13. P. 1434.

6. Семенов В.А. Современные исследования климата Арктики: прогресс, смена концепций, актуальные задачи // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2021. Т. 61. № 1. С. 21–33.

Semenov V.A. Modern Arctic climate research: Progress, change of concepts, and urgent problems // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2021. V. 57. P. 18–28.

7. Zemp M., Huss M., Thibert E. et al. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016 // *Nature*. 2019. V. 568. P. 382–386.

8. Smith S.L., O'Neill H.B., Isaksen K. et al. The changing thermal state of permafrost // *Nat. Rev. Earth Environ.* 2022. V. 3. P. 10–23.

9. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах в связи с глобальными изменениями климата // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 2. С. 16–28.

Mokhov I.I., Semenov V.A. Weather and climate anomalies in Russian regions related to global climate change // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2016. V. 41. P. 84–92.

10. Елисеев А.В., Васильева А.В. Природные пожары: данные наблюдений и моделирование // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2020. Т. 3. С. 73–119.

- Eliseev A.V., Vasileva A.V. Natural fires: observational data and modelling // *Fundamental and Applied Climatology*. 2020. V. 3. P. 73–119. (In Russ.)
11. Allan R.P., Barlow M., Byrne M.P. et al. Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2020. V. 1472. P. 49–75.
12. Чернокульский А.В., Елисеев А.В., Козлов Ф.А. и др. Опасные атмосферные явления конвективного характера в России: наблюдаемые изменения по различным данным // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 5. С. 27–41.
- Chernokulsky A.V., Eliseev A.V., Kozlov F.A. et al. Atmospheric severe convective events in Russia: Changes observed from different data // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2022. V. 47. № 5. P. 343–354.
13. Semenov V., Bengtsson L. Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM // *Climate Dynamics*. 2002. V. 19. P. 123–140.
14. Aleshina M.A., Semenov V.A., Chernokulsky A.V. A link between surface air temperature and extreme precipitation over Russia from station and reanalysis data // *Env. Res. Lett.* 2021. V. 16. P. L105004.
15. Bekryaev R.V., Polyakov I.V., Alexeev V.A. Role of polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern arctic warming // *Journal of Climate*. 2010. V. 23(14). P. 3888–3906.
16. Семенов В.А. Современные исследования климата Арктики: прогресс, смена концепций, актуальные задачи // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2021. Т. 61. № 1. С. 21–33.
- Semenov V.A. Modern Arctic climate research: Progress, change of concepts, and urgent problems // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2021. V. 57. P. 18–28.
17. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016. № 1. С. 84–103.
- Zolina O.G., Bulygina O.N. Current climatic variability of extreme precipitation in Russia // *Fundamental and Applied Climatology*. 2016. V. 1. P. 84–103. (In Russ.)
18. Anisimov O., Reneva S. Permafrost and Changing Climate: The Russian Perspective // *Ambio*. 2006. V. 35. P. 169–175.
19. Ogorodov S., Aleksyutina D., Baranskaya A et al. Coastal erosion of the Russian Arctic: an overview // *J. Coast. Res.* 2020. V. 95. P. 599–604.
20. Kirpotin S.N., Callaghan T.V., Peregona A.M. et al. Impacts of environmental change on biodiversity and vegetation dynamics in Siberia // *Ambio*. 2021. V. 50. P. 26–52.
21. Семёнов С.М. Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. № 2. С. 103–126; Semenov S.M. Greenhouse effect: discovery, concept development, role in formation of global climate and its human induced changes // *Fundamental and Applied Climatology*. 2015. №. 2. P. 103–126. (In Russ.)
22. Manabe S., Wetherald R.T. Effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model // *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1975. V. 32(1). P. 3–15.

23. Feldman D.R. et al. Observational determination of surface radiative forcing by CO₂ from 2000 to 2010 // *Nature*. 2015. V. 519(7543). P. 339–343.
24. IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC. Geneva, Switzerland. P. 1–34.*
25. Будыко М.И. Влияние человека на климат. Л.: Гидрометеиздат. 1972.
Budyko M.I. Human influence on the climate. L.: Gidrometeoizdat, 1972. (In Russ.)
26. IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/>
27. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Под ред. В.М. Катцова. СПб.: Научноёмкие технологии, 2022.
The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary / Ed. by V.M. Kattsov. St. Petersburg: High-tech technologies, 2022. (In Russ.)
28. The history of climate. L.: Hydrometeoizdat, 1979. Steffen W., Grinevald J., Crutzen P., McNeill J. The Anthropocene: Conceptual and historical perspectives // *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A*. 2011. V. 369. P. 842–867.
29. Keeling C.D. The Suess effect: 13Carbon-14Carbon interrelations // *Environ. Int.* 1979. V. 2. P. 229–300.
30. Petit J., Jouzel J., Raynaud D. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*. 1999. V. 399. P. 429–436.
31. Luthi D., Le Floch M., Bereiter B. et al. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present // *Nature*. 2008. V. 453(7193). P. 379–382.
32. Мохов И.И., Семенов А.И. Нелинейные температурные изменения в атмосфере в области мезопаузы на фоне глобальных изменений климата в 1960–2012 гг. // *Доклады Академии наук*. 2014. Т. 456. № 5. С. 596–599.
Mokhov I. I., Semenov A. I. Nonlinear temperature changes in the atmospheric mesopause region of the atmosphere against the background of global climate changes, 1960–2012 // *Doklady Earth Sciences*. Springer Nature BV. 2014. V. 456. №. 2. P. 741.
33. Santer B.D., Po-Chedley S. Zhao L. et al. Exceptional stratospheric contribution to human fingerprints on atmospheric temperature // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2023. V. 120. P. e2300758120.
34. Trenberth K.E., Fasullo J.T., Balmaseda M.A. Earth's Energy Imbalance // *J. Climate*. 2014. V. 27. P. 3129–3144.
35. Hegerl G., Zwiers F. Use of models in detection and attribution of climate change // *Wiley Interdiscip. Rev.: Clim. Change*. 2011. V. 2. P. 570–591.
36. Franzke C.L.E., Barbosa S., Blender R. et al. The structure of climate variability across scales // *Reviews of Geophysics*. 2020. V. 58. P. e2019RG000657.
37. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
Monin A.S., Shishkov YU.A. The history of climate. L.: Hydrometeoizdat, 1979. (In Russ.)
38. Semenov V.A., Latif M., Dommenges D. et al. The impact of North Atlantic-Arctic multidecadal variability on Northern Hemisphere surface air temperature // *J. Climate*. 2010. V. 23. P. 5668–5677.

39. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Эмпирические оценки вклада парниковых газов и естественной климатической изменчивости в тренды приповерхностной температуры для различных широт // Доклады РАН. 2022. Т. 503. С. 48–54.

Mokhov I. I., Smirnov D. A. Empirical estimates of the contribution of greenhouse gases and natural climatic variability to surface air temperature trends for various latitudes // Doklady Earth Sciences. M. : Pleiades Publishing, 2022. V. 503. №. 1. P. 114–118.

40. Мохов И.И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022. № 1. С. 3–14.

Mokhov I.I. Climate Change: Causes, Risks, Consequences, and Problems of Adaptation and Regulation // Herald of the RAS. 2022. № 1. P. 1–11.

41. Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата для устойчивости дорожной инфраструктуры в Российской Арктике // Вестник РАН. 2019. № 12. С. 1228–1239.

Porfiriev B.N., Eliseev D.O., Streletskiy D.A. Economic Assessment of Permafrost Degradation Effects on Road Infrastructure Sustainability under Climate Change in the Russian Arctic // Herald of the RAS. 2019. № 6. P. 567–576.

42. Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации многолетней мерзлоты для объектов системы здравоохранения российской Арктики // Вестник РАН. 2021. № 12. С. 1125–1136.

Porfiriev B.N., Eliseev D.O., Streletskiy D.A. Economic Assessment of Permafrost Degradation Effects on Healthcare Facilities in the Russian Arctic // Herald of the RAS. 2021. № 6. P. 677–686.

43. Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки. М.: ЛЕНАНД, 2011.

Revich B.A., Maleev V.V. Climate change and the health of the Russian population: Situation analysis and forecast estimates. M.: LENAND, 2011. (In Russ.)

44. Макоско А.А., Матешева А.В. Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы. М.: Российская академия наук, 2020.

Makosko A.A., Matesheva A.V. Atmospheric pollution and the quality of life of the population in the XXI century: threats and prospects. M.: Russian Academy of Sciences, 2020. (In Russ.)

45. Grigorieva E.A., Revich B.A. Health Risks to the Russian Population from Temperature Extremes at the Beginning of the XXI Century // Atmosphere. 2021. V. 12. P. 1331.

46. Парфёнова М.Р., Елисеев А.В., Мохов И.И. Изменения периода навигации на Северном морском пути в 21 веке: Байесовы оценки по расчётам с ансамблем климатических моделей // Доклады РАН. 2022. Т. 507. № 1. С. 118–125.

Parfenova M.R., Eliseev A.V., Mokhov I.I. Changes in the duration of the navigation period in Arctic seas along the Northern Sea Route in the twenty-first century: Bayesian estimates based on calculations with the ensemble of climate models // Doklady Earth Sciences. M.: Pleiades Publishing. 2022. V. 507. №. 1. P. 952–958.

47. Семенов В.А., Черенкова Е.А., Алдонова Т.А. Современные и ожидаемые характеристики сезонного хода ледового покрова в морях Российской Арктики // Доклады РАН. 2023. Т. 511. № 1. С. 112–118.

Semenov V.A., Cherenkova E.A., Aldonina T.A. Modern and Projected Characteristics of the Seasonal Cycle of Ice Cover in the Russian Arctic Seas // *Doklady Earth Sciences*. M.: Pleiades Publishing, 2023. V. 511. №. 1. P. 608–613.

48. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. Выпуск 586 / Под ред. В.М. Катцова, В.П. Мелешко. СПб.: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2017. С. 7–20.

Kattsov V.M., Porfir'ev B.N. Adaptation of Russia to climate change: the concept of the national plan // *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov*. Issue 586 / Ed. by V.M. Kattsov, V.P. Meleshko. St. Petersburg: Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov, 2017. P. 7-20.

49. Макаров И.А., Чернокульский А.В. Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации // *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2023. № 4(61). С. 145–202

Makarov I.A., Chernokul'skij A.V. The impact of climate change on the Russian economy: a rating of regions on the need for adaptation // *Journal of the New Economic Association*. 2023. №. 4(61). P. 145-202. (In Russ.)

50. Eyring V., Bony S., Meehl G. A. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geosci. Model Dev*. 2016. V. 9. P. 1937–1958.

51. Володин Е.М., Грицун А.С. Воспроизведение возможных будущих изменений климата в XXI веке с помощью модели климата INM-CM5 // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2020. Т. 56. № 3. С. 255–266.

Volodin E. M., Gritsun A. S. Simulation of possible future climate changes in the 21st century in the INM-CM5 climate model // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020. V. 56. №. 3. P. 218–228.

52. Мохов И.И., Елисеев А.В., Гурьянов В.В. Модельные оценки глобальных и региональных изменений климата в голоцене // *Доклады РАН*. 2020. Т. 490. № 1. С. 27–32.

Mokhov I. I., Eliseev A. V., Guryanov V. V. Model estimates of global and regional climate changes in the Holocene // *Doklady Earth Sciences*. Pleiades Publishing. 2020. V. 490. P. 23–27.

53. Keenlyside N., Latif M., Jungclaus J. et al. Advancing decadal-scale climate prediction in the North Atlantic sector // *Nature*. 2008. V. 453(7191). P. 84–88.

54. Данилов-Данильян В.И., Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Проблема климатических изменений – поле сближения и взаимодействия естественных и социогуманитарных наук // *Вестник РАН*. 2020. № 10. С. 914–925.

Danilov-Danil'yan V.I., Kattsov V.M., Porfiriev B.N. The Problem of Climate Change: The Field of Convergence and Interaction between Natural Sciences and the Sociohumanities // *Herald of the RAS*. 2020. № 5. P. 577–587.

55. Семенов В.А. Изменения климата как новая мораль в экономических отношениях // *Труды Вольного экономического общества России*. 2019. Т. 2016. № 2. С. 215–226.

Semenov V.A. Climate change as a new morality in economic relations // *Proceedings of the Free Economic Society of Russia*. 2019. V. 2016. №. 2. P. 215–226. (In Russ.)

ДОКЛАД

АКАДЕМИКА РАН Б.Н. ПОРФИРЬЕВА,
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН А.А. ШИРОВА

«СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СДВИГИ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ (СРЕДНЕ- И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ)»

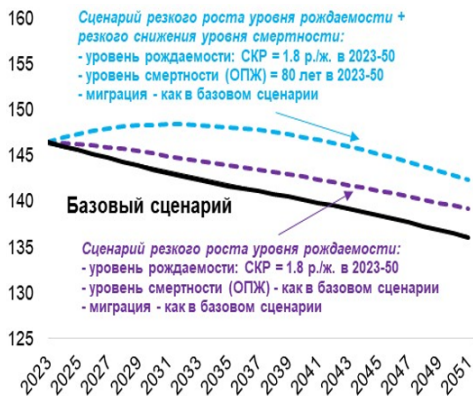
Современная Россия столкнулась с большими внешними и внутренними вызовами. Внешние вызовы, включая прошедшую свой пик, но не канувшую в лету пандемию коронавируса, унёсшую более 20 млн жизней в мире, в том числе около 800 тыс. в нашей стране, а также нынешний геополитический и геоэкономический кризис, спровоцированный событиями вокруг Украины и связанной с ними санкционной войной западных экономик против России, стали катализатором и одновременно стимулом для ответа на вызовы внутренние. Последние принципиально не меняются на протяжении последних десятилетий и остаются главным тормозом на пути устойчивого социально-экономического развития страны. В свою очередь, структурно-технологические сдвиги и модернизацию экономики правомерно рассматривать в качестве одного из принципиальных ответов на внешние и внутренние вызовы и как одно из ключевых направлений стратегического планирования и стратегии действий, охватывающее государственную социально-экономическую и научно-техническую политику. Базовым элементом обоснования такой стратегии, прежде всего целеполагания и ключевых механизмов достижения целей, должен выступать социально-экономический и научно-технический прогноз развития на долгосрочную перспективу.

В данной статье в контексте вышеупомянутого подхода рассматриваются четыре больших вызова устойчивому социально-экономическому развитию и национальной безопасности страны и, соответственно, четыре направления структурных сдвигов и модернизации экономики как стратегические ответы на эти вызовы.

Демографический вызов и структурный сдвиг в сфере занятости населения

Анализ демографических процессов последних десятилетий, включая показатели смертности, рождаемости, миграции, а также сценарии их изменения до 2050 г., свидетельствует о двух негативных тенденциях – снижении численности и старении населения (рис. 1). Возникают серьёзные риски увеличения коэффи-

циента демографической нагрузки на экономику (соотношение неработающего и экономически активного населения) и связанные с ними дефицит кадров, торможение роста производства и доходов. По данным ЦБ России, уже в середине 2023 г. 60% производств испытывали кадровый дефицит, 80% промышленных предприятий, прежде всего в обрабатывающей промышленности, – проблемы с наймом персонала [1].



160 Базовый сценарий ИНП РАН (близок к прогнозу
155 Росстата от октября 2023 года):
150 1) Уровень рождаемости
145 (измеряемый через суммарный
140 коэффициент рождаемости, детей на женщину):
135 1.42 (2022) => 1.75 (2023-50)
130 2) Уровень смертности (измеряемый через
125 ожидаемую продолжительность жизни, лет:
мужчины: 67.6 (2022) => 77 (2050)
женщины: 77.8 (2022) => 83 (2050)
оба пола: 72.7 (2022) => 80 (2050)
3) Миграционный прирост: в среднем 200 тыс.
чел. в год.

Рис. 1. Прогноз динамики численности населения России в 2023–2050 гг.
Источник: Росстат, расчёты ИНП РАН.

Следует подчеркнуть: указанные риски актуальны при неизменной производительности труда (рис. 2), что в перспективе ближайших десятилетий представляется маловероятным. Если в 2023–2050 гг. среднегодовой прирост производительности труда будет равен 1%, то, согласно модельным расчётам, реальный эффективный коэффициент демографической нагрузки останется на уровне 2022 г. Если же в указанный период среднегодовые темпы роста производительности удастся поддерживать на уровне 2002–2019 гг. (3%), а предприятия, реализующие национальный проект "Производительность труда", снизившие всего за несколько лет потребность в кадрах на 100 тыс. человек [3], смогут сохранить достигнутые показатели, это станет эффективным ответом на демографический вызов.

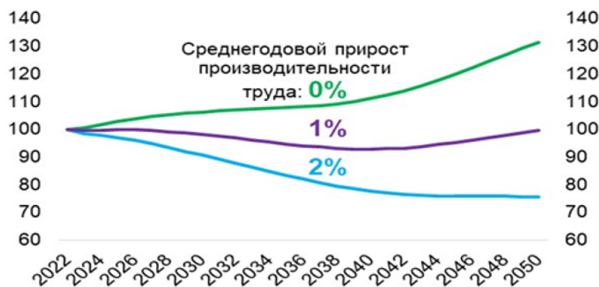


Рис. 2. Изменение реального эффективного коэффициента демографической нагрузки
в зависимости от производительности труда (2022 = 100)
Источник: расчёты ИНП РАН.

Реализация потенциала роста производительности труда требует значительных инвестиций в развитие здравоохранения и образования, а также в науку (НИОКР). Это тем более необходимо, учитывая нынешнее примерно двукратное отставание России от развитых экономик мира по доле вклада так называемой экономики знаний (важнейшими составляющими которой являются здравоохранение, образование и наука) в ВВП: примерно 15–16% против 35% [4]. Кроме того, инвестиционный импульс должен быть увязан с соответствующими качественными изменениями в структуре рынка труда, а именно с ростом занятости в перечисленных выше сферах. Как показывают прогнозные расчёты, именно эти секторы наряду с реципиентами научно-технологических достижений (высоко- и среднетехнологическими отраслями обрабатывающей промышленности, а также строительством) в период 2019–2035 гг. должны стать главным драйвером роста совокупной занятости, тогда как в её основном резервуаре, торговле, ожидается сокращение (рис. 3).



Рис. 3. Направление сдвигов в отраслевой структуре занятости в 2019–2035 гг., % совокупной занятости (голубая линия – 2019 г., коричневая – 2035 г.)
Источник: расчёты ИНИП РАН.

Для проведения эффективной политики на рынке труда необходим единый прогноз потребности экономики в кадрах на отраслевом, региональном и профессионально-квалификационном уровнях, а также согласование классификаторов в сфере труда и образования, задача разработки которых в 2024 г. была поставлена перед научно-экспертным сообществом Президентом России на расширенном заседании Президиума Госсовета по вопросу "О развитии рынка труда в Российской Федерации" в сентябре 2023 г. [5]. Решить эту задачу можно только на основе консолидации усилий бизнеса, государства и научно-экспертного сообщества. Бизнес должен определить параметры спроса на труд со стороны его потребителей – компаний (предприятий), то есть снизу. Государство (органы власти) как ключевой институт и регулятор, управляющий сверху, на макроэкономическом уровне, формированием такого спроса, его объёмом и структурой, должно увязывать качественные и количественные параметры предложения труда в рамках социально-экономического и научно-технологического прогнозов долгосрочного развития страны. Задача научно-экспертного сообщества – разрабатывать такие прогнозы.

Важнейшую роль в процессе согласования параметров спроса на труд должны играть оценки изменения эффективности производства, что предполагает тесное сопряжение социально-экономической политики со стратегией научно-технологического развития страны. А это одна из наиболее сложных, комплексных проблем, решение которой предполагает использование междисциплинарного системного подхода и наличие соответствующего кадрового потенциала. Российская академия наук располагает необходимым для решения этой задачи методологическим и кадровым потенциалом, включая учёных-обществоведов (экономистов, социологов, юристов и т.д.), которые имеют немалый и в целом позитивный опыт разработки такого рода прогнозов в тесной кооперации с бизнес-структурами и государством, в первую очередь с Минэкономразвития России.

Технологическое отставание и форсированный сдвиг в отраслевой и производственно-технологической структуре

До недавних пор одной из излюбленных тем и общим местом политических и экономических дискуссий была проблема пресловутой нефтяной или нефтегазовой "иглы", на которую подседа российская экономика, в первую очередь экспорт, в котором доминировали топливно-энергетические ресурсы. Долгие годы, в течение которых усиленно муссировалась эта тема, многие видные экономисты РАН настойчиво пытались доказать некорректность подобной оценки.

Так, академик В.В. Ивантер неоднократно отмечал, что одна из ключевых проблем экономики первых двух десятилетий XXI в. состоит не в экспорте углеводородов (производство которых, в отличие от расхожего мнения о его примитивности и низкой добавленной стоимости, является высокотехнологичным и доходным бизнесом, а сам товар – весьма востребованным на мировом рынке), но в технологической зависимости. Последняя проявляется в низкой доле отечественных работ и, соответственно, высокой доле машин и оборудования в импорте нефтегазового сектора экономики, а также в совокупном импорте страны. Зависимость усиливало неэффективное использование значительной части валютной выручки,

которую страна получала от сырьевого экспорта и которая шла на покупку потребительских товаров вместо современных технологий и оборудования. Таким образом, корень зла не в "сырьевом проклятии", а в "импортной игле": "Бороться нужно не с экспортом сырьевых ресурсов, а с избыточным импортом... Мы должны вернуть себе собственные рынки оборудования и сервисных услуг в топливно-энергетическом комплексе, фармацевтики и медтехники, продовольствия – там, где зависимость от импорта сложилась драматическая. Совершенно ясно, что страна, которая может создавать космические аппараты и строить атомные электростанции, способна это сделать. Не должно быть зависимости от импортных комплектующих и в оборонно-промышленном комплексе" [6].

Эта точка зрения более чем актуальна сегодня, в условиях наложения трендов ускоренной цифровой трансформации мировой экономики, с одной стороны, и её «зелёной» трансформации – с другой, а также санкционной войны Запада против России. Она оказывает значительное давление на отечественную экономику, особенно на её промышленный сектор и научно-технологический комплекс, но одновременно даёт мощный импульс их развитию. Ответом на этот вызов закономерно должен был стать и уже становится форсированный рост обрабатывающей промышленности и "быстрое сползание с технологической иглы Запада" [7].

Так, в 2023 г. по предварительным данным, производство в сфере машиностроения в целом выросло на 21,1% (числа везде округлены до целых значений), в том числе производство станков больше чем на 50%; электронной и вычислительной техники – на 32,8%; транспортных средств (кроме автомобилей) – на 25,5%, электрооборудования – на 23% (рис. 4). Именно эти важнейшие сегменты внесли решающий вклад в рынок обрабатывающей промышленности и в ускорение динамики всего народно-хозяйственного комплекса (рис. 5), благодаря чему в итоге в 2023 г. ВВП страны увеличился на 3.6%.



Рис. 4. Динамика роста промышленного производства в России в 2023 г. (предварительные данные)

Источник: ЦДУ ТЭК, Минэкономразвития России.



Рис. 5. Декомпозиция индекса роста промышленного производства в январе–октябре 2023 г.
Источник: расчёты ИНИ РАН.

С макроэкономической точки зрения ключевой вклад обрабатывающей промышленности состоит в росте эффективности использования первичных ресурсов, включая нефтегазовые, через удлинение цепочек добавленной стоимости, увеличение производительности и усложнение (модернизацию) структуры экономики. При этом сектора экономики, производящие ресурсы, прежде всего топливно-энергетические, были и остаются материальной базой экономического роста и одной из приоритетных сфер приложения научно-технологических достижений. Это полностью соответствует Повестке ООН по устойчивому развитию до 2030 г., которая предусматривает обеспечение энергией всех субъектов экономики как одну из ключевых целей. Вместе с тем в России именно на энергетических предприятиях госкомпаний, играющих в этой отрасли ведущую роль, сохраняются, причём в большом количестве, технологии, не соответствующие мировому уровню [8, с. 91].

В качестве примера структурно-технологической трансформации экономики на основе роста эффективности расходования топливно-энергетических ресурсов можно привести использование природного газа в производстве кормового белка для отечественного животноводства и на экспорт. В 1960-х годах в СССР было развёрнуто широкомасштабное производство белка гаприна, но в 1990-е годы это успешное начинание, как и многие другие, было свёрнуто. Таким образом, в данном случае речь идёт о возможности своеобразного технологического ренессанса на основе современных научно-технических достижений. Реальность таковых была обоснована в докладах на сессии президиума РАН в декабре 2021 г., в том числе академика РАН В.О. Попова и авторов этих строк, представивших расчёты мультипликативных эффектов развития соответствующих производств. Представляется, что

этот процесс может получить новый импульс в связи с ноябрьским 2023 г. указом Президента России о развитии природоподобных технологий [9]. Уже к апрелю 2024 г. предусматривается разработка Правительством Российской Федерации плана соответствующих мероприятий, в том числе в сфере биотехнологий.

Другой пример – использование природного газа для производства водорода, одного из лучших по экологическим и климатическим характеристикам источника энергии. Как известно, успешные разработки в этой области осуществляют ПАО "Газпром" и Госкорпорация "Росатом" совместно со специалистами РАН. В частности, учёные ИНП РАН рассчитали ёмкость мирового и отечественного рынков водорода, обосновали не только научно-технический императив (с позиций технологического суверенитета), но и экономическую целесообразность развития водородных технологий. Кроме того, с точки зрения экономической эффективности доказана необходимость поэтапного перехода к их коммерциализации с учётом ограничения рынков сбыта и отказа от стремления следовать во всём за западными конкурентами, которые раскручивают весьма сомнительную с точки зрения экономики спираль "водородной гонки" [10].

Структурно-технологическая трансформация российской экономики как эффективный ответ на сохраняющееся технологическое отставание, как стратегия достижения технологического и национального суверенитета предполагает формирование системы, которая включает семь ключевых элементов, образующих управленческий цикл: производство – инвестиции в НИОКР – инновации – производительность труда – доходы – спрос – инвестиции в производство – производство. Эта система должна обеспечить научно-технологическую достройку производственных цепочек, берущих начало от ключевых природных ресурсов, включая топливно-сырьевые (контур или кластер ТЭК), минеральные (металлургический комплекс) и экологические – почвы, леса и экосистемные услуги (агропродовольственный, лесной, рекреационно-туристический кластеры). При этом всё возрастающую роль связующего звена играют большие инфраструктурные проекты, в том числе транспортные и строительные.

Как представляется, подобная система может быть выстроена только в рамках соответствующей стратегии или программы действий на основе фундаментального научно-технологического прогноза. В его разработке ключевая роль (если не лидерство) должна принадлежать Российской академии наук в тесной кооперации с экспертами бизнес-сообщества и отраслей экономики, при использовании в том числе возможностей Научно-координационного совета РАН по социально-экономическому прогнозированию, в котором, помимо академических специалистов, участвуют представители Минэкономразвития России, ряда других ведомств и, конечно, университетов.

Сдвиги в научно-технологической политике и системе управления наукой

Будучи одним из драйверов структурно-технологической модернизации экономики научно-технический прогресс и научно-технологическая политика в её нынешнем состоянии таят в себе риски устойчивому развитию и угрозу национальной безопасности России. Выделим три проблемы.

Одна из них связана с вкладом научно-технологического фактора, прежде всего высоко- и среднетехнологического комплексов, в динамику ВВП за последние 10 лет, который, как и доля расходов на здравоохранение и образование, увеличился (табл. 1); но при этом доля расходов на научный сектор сократилась (с 1.7% в 2013 г. до 1.4% 2021 г.). В федеральном бюджете на 2023–2025 гг. (при рассмотрении структуры его расходов в динамике в постоянных ценах) прослеживается та же тенденция снижения затрат на науку. Анализ объёма и структуры финансирования госпрограммы "Научно-технологическое развитие Российской Федерации" до 2024 г., по которой в 2021–2023 гг. более 2/3 затрат приходилось на образовательный блок, свидетельствует об остаточном характере расходов на научную и научно-техническую деятельность (подробнее см. [8]).

Другая проблема – это соотношение внутренних затрат на НИОКР в России с затратами на импорт научно-технологических знаний, воплощённых в высоко- и среднетехнологичных зарубежных товарах. Как видно на рисунке 6, это соотношение составляет примерно 1:3, причём, к сожалению, такая ситуация устойчиво сохраняется на протяжении длительного времени. В то же время, согласно расчётам, выполненным в ИНП РАН, отдача от внутренних затрат НИОКР – в терминах их мультипликативных эффектов на динамику развития различных секторов российской экономики – весьма значительна и достигает 1.43 (для роста на ВВП) и 2.33 (для роста выпуска).

Табл. 1. Экономические параметры научно-инновационного комплекса России

Сектора экономики	Добавленная стоимость, % ВВП				Доля сектора в общем объёме от- груженных иннова- ционных товаров, %	
	2011	2015	2017	2021	2017	2021
Научоёмкий, высоко- и среднетехнологичный	19,7	21,1	21,9	23,0	49,1	50,7
Высокотехнологичный	1,0	1,4	1,4	1,6	9,9	10,4
Среднетехнологичный	2,9	3,2	3,1	3,6	22,4	21,7
Научоёмкий	15,8	16,5	17,4	17,8	16,8	18,6
Наука и технологии	8,9	9,9	9,8	10,8	49,0	50,3
Человеческий капитал	6,1	6,3	6,3	6,5	0,0	0,3

Источник: расчёты Института исследований и экспертизы ВЭБ. Российская Федерация.

Наконец, ещё одна проблема связана с кризисом системы управления научно-технологическим комплексом страны, который проявляется как в выборе приоритетов целей и финансирования и их сопряжении (точнее, недостаточной увязки друг с другом), так и в схеме организации управления этим комплексом, в которой сохраняется немало несостыковок и ощущается дефицит координации между уровнями и субъектами принятия решений [8]. Это обстоятельство, как и упомянутые выше проблемы, означает необходимость качественных сдвигов в научно-технологической политике страны, включая систему управления наукой.

На наш взгляд, было бы весьма продуктивным вернуться к собственному опыту не столь давнего советского прошлого и критически, но конструктивно проанализировать и оценить его с позиций текущих и перспективных задач развития с учётом современной мировой практики в рассматриваемой сфере. Заслуживает внимания опыт функционирования Государственного комитета СССР по науке и технике (ГКНТ), созданного вскоре после войны, в 1948 г. Как известно, благодаря активной его деятельности (безусловно, не только его) был получен целый ряд выдающихся достижений в области науки и техники, которые значительно продвинули общество и экономику страны, способствовали укреплению её безопасности и технологического суверенитета: первая в мире АЭС (1949), запуск первого в мире искусственного спутника Земли (1957) и человека в космос (1961) и т.д., вплоть до ликвидации комитета в 1991 г. Неудивительно, что буквально через год после запуска спутника в 1958 г. шокированные этим событием власти США объявили о создании собственного Агентства по передовым стратегическим разработкам (ARPA), позднее преобразованного в DARPA (добавлено "оборонного назначения"), под эгидой и/или при мощной поддержке которого были получены важнейшие научно-технологические результаты. В гражданском секторе экономики: от изобретения Интернета в конце 1960-х, GPS в начале 1970-х до разработки вакцин против коронавируса в конце 2010-х. В 2022 г. аналогичное агентство (ARIA) было сформировано в Великобритании, которая по ряду критериев, является одним из мировых научно-технических лидеров. Цель агентства – поддержка оригинальных и рискованных проектов трансформационных технологий, которые могли бы опережать своё время на десятилетия и оказывать мощное влияние на развитие широкого спектра видов экономической деятельности [12].

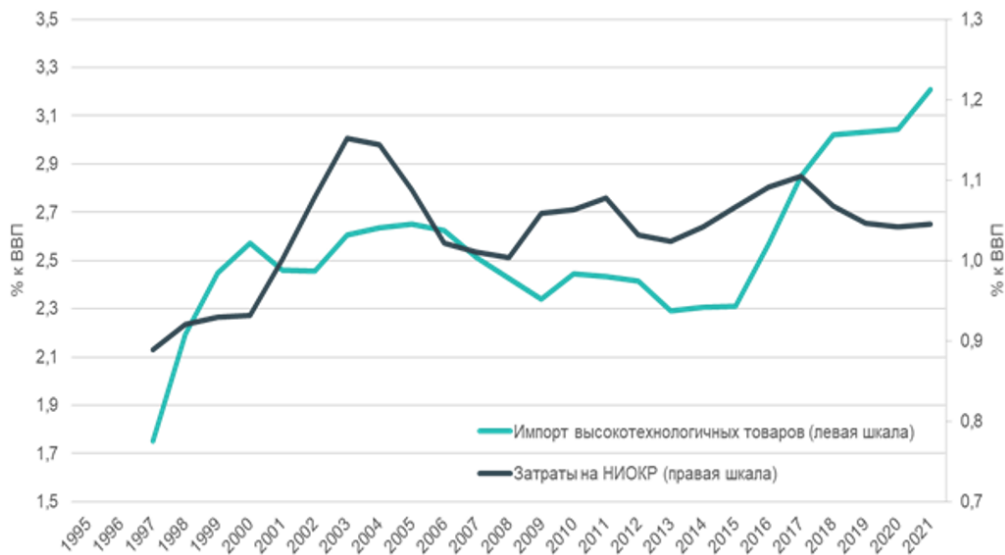


Рис. 6. Динамика высокотехнологичного импорта и внутренних затрат на НИОКР
 Источник: расчёты Института исследований и экспертизы ВЭБ. Российская Федерация.

Отечественный и зарубежный опыт наглядно свидетельствуют об актуальности предложения внимательно изучить предшествующий опыт и, может быть, на новом уровне сформировать, не копируя, структуру, аналогичную советскому ГКНТ. Тем более следует вспомнить, что ликвидация комитета в 1991 г. была осуществлена на основании Постановления Госсовета СССР от 14 ноября 1991 г. № 13 в соответствии с Законом СССР от 5 сентября 1991 г. № 2391-1 "Об органах государственной власти и управления Союза ССР в переходный период". Как известно, политический переходный период давно закончился, и если всё же использовать это словосочетание, то оно, скорее, уместно в экономическом и научно-техническом контексте – как период или фаза перехода к технологическому рывку, императив которого неоднократно подчёркивал в своих выступлениях Президент России.

Без серьёзных институциональных преобразований, с нашей точки зрения, простое наращивание финансирования НИОКР (которое, конечно же, необходимо) может оказаться недостаточным для структурно-технологической модернизации российской экономики. При этом необходимо уделять внимание не только организационной, но и кадровой стороне дела, в том числе не забывая, что из 43 лет деятельности ГКНТ почти 35 лет его возглавляли выдающиеся учёные – академики В.А. Кириллин, Г.И. Марчук и Н.П. Лавёров. И это закономерно, учитывая, что комплексный, междисциплинарный подход, без которого трудно представить эффективную работу системы управления наукой и технологическим развитием страны, в том числе реализацию масштабных программ и проектов, – это козырь РАН, располагающей уникальным корпусом учёных, специалистов, экспертов.

В связи с этим уместно привести два примера. Один из них – инициированные в 2022 г. Советом при Президенте Российской Федерации по науке и образованию три важнейшие инновационные проекты государственного значения: научно-технологическая платформа оперативного реагирования на инфекционные заболевания, низкоуглеродная энергетика замкнутого цикла и единая национальная система мониторинга климатически активных веществ. В рамках последнего проекта, по солидарной оценке экспертов, удалось добиться наибольшего прогресса в реализации первого этапа (2022–2024). Проект объединил усилия более 60 организаций, подведомственных трём министерствам – генеральным заказчикам проекта (Минэкономразвития России, Минприроды России, Минобрнауки России), в том числе более 50 институтов семи отделений РАН. Только на выполнение первого этапа предусмотрено более 10 млрд руб., или более 3 млрд руб. в среднем в год, что беспрецедентно, имея в виду неблагоприятные тенденции финансирования российской науки. При этом следует принимать во внимание не только ожидаемые к 2030 г. научно-практические результаты важнейшего инновационного проекта, но и полученные к началу 2024 г.: они будут способствовать повышению качества проработки управленческих решений в сфере климатической политики страны и, главное, запуску ряда механизмов поддержки структурно-технологических сдвигов и модернизации российской экономики. Не меньшее значение имеет система организации важнейших инновационных проектов, которая, по мнению руководства Минэкономразвития России, оказывается эффективной и перспективной для тиражирования на другие крупные наукоёмкие междисциплинарные проекты.

Другой пример связан со Стратегией социально-экономического развития России с низким уровнем эмиссии парниковых газов до 2050 г. Она была разработана в рамках исполнения обязательств нашей страны по Парижскому соглашению по климату 2015 г. под эгидой Минэкономразвития России при активном участии экономистов ИНП РАН, которые внесли значительные коррективы в первоначальную версию документа. На основе модельных сценариев научно-технологического прогноза были рассчитаны перспективные спрос и предложение соответствующих технологий, выделены их категории по критериям удельной капиталоемкости затрат на снижение выбросов парниковых газов, доступности (наличия и степени локализации производства), а также дана оценка влияния этих технологий на динамику экономического роста. Важнейшим результатом стало обоснование целевого сценария стратегии, в рамках которого достижение так называемой углеродной нейтральности (баланс выбросов и поглощения CO₂), а эта цель зафиксирована в Климатической доктрине России (ноябрь 2023 г.), возможно к 2060 г. в рамках структурно-технологической модернизации экономики на основе использования главным образом уже имеющегося задела, а также новых отечественных разработок при сохранении приемлемых темпов долгосрочного экономического роста на уровне 3% в среднем в год [15].

Пространственный вызов и «восточный» вектор новой политики территориального развития

Многие годы не затихает дискуссия относительно размеров территории России: богатство это или проклятие [16–18]. С нашей точки зрения, это, безусловно, богатство страны, её капитал, который нужно уметь использовать. В этом случае дискуссия переходит в другую плоскость в рамках дихотомии "большой вызов – эффективный ответ". Российское государство, в том числе в последние десятилетия, искало и находило ответы на этот вопрос, но они не всегда оказывались успешными в долгосрочном плане, а значит, возникала необходимость в поиске новых решений, отвечающих требованиям модернизации хозяйственного комплекса, устойчивого социально-экономического развития и национальной безопасности страны [18].

Эта ситуация характерна и для нашего времени, когда Правительством страны принята и реализуется Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. Двумя её приоритетами выступают развитие городских агломераций и восточных (Сибирского, Дальневосточного и Арктического) регионов страны. Второй приоритет соответствует общей установке поворота на Восток.

Учёные Российской академии наук, включая обществоведов, внесли и продолжают вносить в решение проблемы пространственного развития весомый вклад, в том числе в рамках экспертизы (критический анализ и оценка) упомянутой Стратегии, а также разработки конкретных рекомендаций по её качественному обновлению [19]. В том числе обоснование отказа от акцента на расширение крупнейших и крупных агломераций как на универсальный источник экономического роста [20], расширение, которое нарушает сбалансированное развитие поселенческой сети, установление межрегиональных связей, входит в противоречие с целями государственной программы Комплексного развития сельских территорий.

Помимо экспертизы федеральных стратегий и программ в сфере пространственной политики, научно-практическая деятельность Академии наук охватывает как минимум два направления и механизма их реализации. Прежде всего речь идёт о деятельности региональных отделений РАН, включая новое Санкт-Петербургское отделение. Они могут обеспечить и реально обеспечивают разработку и сопровождение, а также экспертизу территориальных проектов развития, в том числе организацию этой работы непосредственно в регионах. Такая практика осуществляется практически всеми региональными отделениями РАН. Второе направление – реализация масштабных исследовательских проектов (в первую очередь так называемых "100-миллионников" Минобрнауки России) в интересах регионов и всей России, когда внимание акцентируется на вопросах межрегионального взаимодействия и связывания пространства страны в единое целое.

Яркий пример – мегапроект социально-экономического развития Азиатской России, реализованный в 2020–2022 гг. группой академических институтов под эгидой Института экономики и организации промышленного производства СО РАН, с упором на совершенствование транспортных систем и укрепление

межрегиональных связей. Один из важных результатов, полученных в рамках данного комплексного исследования, – оценка эффектов реализации больших инвестиционных проектов на территории Азиатской России: как оказалось, влияние подобных проектов на рост ВВП этого макрорегиона в 2–2.5 раза выше общероссийского (федерального) показателя, а для Сибирского федерального округа – в четыре и более раз. Есть серьёзные основания полагать (в частности, имея в виду поручения Президента России от октября 2023 г. по развитию Восточного полигона и строительству Северо-Сибирской железнодорожной магистрали, а также развитию международных транспортных коридоров в рамках мегапроекта КНР "Один пояс – один путь"), что это направление (меж)региональной политики и связанный с ним комплекс масштабных исследовательских работ получит продолжение уже в ближайшем будущем. А значит, усилится востребованность научного потенциала экономистов и других специалистов Российской академии наук.

Литература

1. Центральный банк России. Доклад "Региональная экономика: комментарии ГУ". № 22. 6 сентября 2023 г. С. 24–31 (Врезка 1 "Ситуация на региональных рынках труда"). http://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/46309/report_01092023.pdf [Central Central Bank of Russia. Report "Regional economy: comments of the GU". № 22. 6 September 2023. С. 24—31 (Box 1 "The situation in the regional labour markets")].
2. Подцераб М. Заводам мало кадров // Ведомости. 25.12.2023. С. 11. [Potserab, M. Plants are short of personnel // Vedomosti. 25.12.2023. С. 11]
3. Минэкономразвития призвало продлить нацпроект "Производительность труда". <https://ria.ru/20231207/trud-1914328095.html> [The Ministry of economic development of Russia called for the extension of the national project "Labor productivity" <https://ria.ru/20231207/trud-1914328095.html>]
4. Аганбегян А.Г. Перспективы инновационного развития России (Часть I) // Российское конкурентное право и экономика. 2023. № 1. С. 8–21. <https://doi.org/10.47361/2542-0259-2023-1-33-8-21> [Aganbegian A.G. Prospects of Innovative Development of Russia (Part I) // Russian Competition Law and Economics. 2023. № 1. С. 8–21].
5. Расширенное заседание Президиума Государственного совета по вопросу "О развитии рынка труда в Российской Федерации". Великий Новгород, 21 сентября 2023 года. <http://special.kremlin.ru/events/president/transcripts/72319> [Extended meeting of the Presidium of the State Council on the issue "On the development of the labor market in the Russian Federation". V. Novgorod, 21 September 2023 <http://special.kremlin.ru/events/president/transcripts/72319>]
6. Ивантер В.В. Кто сказал, что нефть – это проклятье? // Российская газета. Федеральный выпуск № 42(6910). 28 февраля 2016 [Ivanter V. Who said oil is a curse..? // Rossiiskaia Gazeta. Federal Issue No. 42 (6910). 28 February 2016]
7. Путин заявил, что Российская Федерация довольно быстро слезает с "технологической иглы" Запада (встреча Президента России с молодыми учёными на фе-

деральной территории "Сириус" 29 ноября 2023 г.). <https://tass.ru/politika/19413649> [Putin claimed the Russian Federation quite quickly getting off the “technological needle” of the West (the meeting of the President of Russia with young scientists on the “Sirius” federal territory on November 29, 2023.)]

8. Klepach, A., Vodovatov, L. and E. Dmitrieva. Russian Science and Technology: Rise or Progressive Lag (Part I) // *Studies on Russian Economic Development*. 2022. Vol. 33. No. 6. Pp. 630-643]

9. Указ Президента Российской Федерации от 02.11.2023 № 818 "О развитии природоподобных технологий в Российской Федерации". <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311020021> [Decree of the President of the Russian Federation of 02.11.2023 No. 818 On the development of nature-like technologies in the Russian Federation <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311020021>]

10. Акаев А.А., Рудской А.И., Кораблёв В.В., Сарыгулов А.И. Технологические и экономические барьеры роста водородной энергетики // *Вестник РАН*. 2022. № 12. С. 1133–1144 [A.A. Akaev, A.I. Rudskoy, V.V. Korablev, A.I. Sarygulov Technological and economic barriers to the growth of hydrogen energy // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2022. № 6. P. 691–701]

11. National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. 2023. Options for National Plan for Smart Manufacturing. Washington, DC. The National Academies Press.

12. The bosses of Britain’s new research agency explain its innovations. <https://www.economist.com/by-invitation/2022/08/11/the-bosses-of-britains-new-research-agency-explain-its-innovations>

13. Экономика научно-технологического прорыва и суверенитета / Науч. ред. А.Н. Клепач / Межведомственная рабочая группа по технологическому развитию при Правительственной комиссии по модернизации экономики и инновационному развитию, Институт исследований и экспертизы ВЭБ Российской Федерации. М., 2023. [The Economics of Scientific and Technological Breakthrough and Sovereignty. Science / Ed. A.N. Klepach. Interdepartmental Working Group on Technological Development under the Government Commission for Economic Modernization and Innovative Development, Institute for Research and Expertise of VEB RF. M., 2023]

14. Shirov A. Development of a System for Monitoring and Forecasting Emissions of Climatically Active Substances in the Interests of Modernization and Development of the Russian Economy // *Studies on Russian Economic Development*. 2023. V. 34. № 6. P. 728–737.

15. Shirov A., Kolpakov A. Target Scenario of Low Greenhouse Gas Emissions Socio-Economic Development of Russia for the Period until 2060 // *Studies on Russian Economic Development*. 2023. V. 34. № 6. P. 758–768.

16. Гранберг А.Г. Основы региональной экономики. М.: ГУ ВШЭ, 2000 [Granberg A.G. Basics of the regional economy. M.: GU HSE]

17. Смирнягин Л.В. Судьба географического пространства в социальных науках // *Известия РАН. Серия географическая*. 2016. № 4. С. 7–19 [Smirnyagin L. The fate of geographical space in social sciences // *Izvestia RAS. Geographical series*. 2016. № 4. С. 7–19]

18. Швецов А.Н. Российское пространство в процессе исторических переходов к разработке и реализации теории постсоветских системных преобразований

организации социоэкономического пространства // Российский экономический журнал. 2021. № 6. С. 661. с. [Shvetsov A.N. Russian space in the process of historical transitions (towards the development and implementation of the theory of post-Soviet system transformations of the organization of the socio-economic space // Russian Economic Journal. 2021. (6):66–100. (In Russ.)].

19. Кузнецова О.В., Дружинин А.Г. К новой стратегии пространственного развития России // Проблемы прогнозирования. 2024. № 3 (в печати) [Kuznetsova O., Druzhinin A. Towards a New Strategy for Spatial Development of Russia // Studies on Russian Economic Development. 2024. № 3 (in press) (In Russ.)].

20. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.05.2022 № 996 "Об утверждении Правил согласования, утверждения и мониторинга реализации долгосрочных планов социально-экономического развития крупных и крупнейших городских агломераций" https://economy.gov.ru/material/dokumenty/postanovlenie_pravitelstva_rf_ot_31052022_996.html [Decree of the Government of the Russian Federation of 31.05.2022 No. 996 "On approval of the Rules of coordination, approval and monitoring of the implementation of long-term plans for the socio-economic development of large and the largest urban agglomerations https://economy.gov.ru/material/dokumenty/postanovlenie_pravitelstva_rf_ot_31052022_996.html]

21. Новый импульс Азиатской России: источники и средства развития: в 2-х т. / Под ред. В.А. Крюкова, Н.И. Сулова. Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2023. [New impetus for the Asian Russia: sources and means of development: in two volumes / Eds. Kryukov, V and Suslov, N. Novosibirsk: Institute of Economics and Organization of Industrial Production of the RAS Siberian Branch Publishers, 2023]

ДОКЛАД

АКАДЕМИКА РАН А.А. ДЫНКИНА

«ТРАНСФОРМАЦИЯ МИРОВОГО ПОРЯДКА: ЭКОНОМИКА, ИДЕОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИИ»

Концепция *многополярного (многополюсного или полицентричного) мирового порядка*¹ впервые была сформулирована академиком Е.М. Примаковым в 1996 г. [1]. Как и всё новое, она не сразу была принята, однако явилась существенным вкладом в отечественную и мировую теорию международных отношений, стала мощной альтернативой западным подходам, прежде всего выдвинутому в работе С. Хантингтона «Столкновение цивилизаций» [2]. Она легла в основу реализованной Е.М. Примаковым идеи трёхстороннего сотрудничества России, Китая и Индии, которая затем получила практическое воплощение в форме группы стран БРИКС. Сегодня идея многополярности признана в мировой политологии, вошла в систему понятий и язык международной дипломатии, используется в доктринальных документах Российской Федерации. В 2015 г. мы предложили сценарий *новой биполярности* [3] как один из вариантов мирового развития. Сегодня многие и китайские, и американские исследователи говорят о формировании китаецентричного и американоцентричного полюсов [4, 5].

Обсуждению дихотомии «многополярность – новая биполярность» посвящена данная статья.

Длинные макротренды

Мировая история свидетельствует, что новый мировой порядок возникает, как правило, *после завершения очередной войны* (табл. 1). «Кухней», где готовился мировой порядок, обычно выступала Европа. Возьмём последние 200 лет. После окончания наполеоновских войн возникла Венская система, которая просуществовала 100 лет. Вековая устойчивость этой системы связана с однородностью политической организации её стран-гарантов. Все члены «европейского концерта» были монархиями. После Первой мировой войны возникла Версальская система, которая продержалась недолго, всего 20 лет. Одна из причин её короткой жизни – исключение из неё СССР, Германии и Китая. Ялтинско-Потсдамская система формировалась победителями во Второй мировой войне. Её гарантами выступали

¹ Мировой порядок, или система международных отношений, – устойчивый набор институтов и норм военно-политических и экономических отношений, оформленный институционально и легитимный в международно-правовом смысле. Миропорядок стабилен на протяжении активной жизни как минимум одного поколения – универсальной величины измерения социального времени. В результате геополитических макрокризисов возникают и нелегитимные системы, силовым образом навязанные победителем. Таким был однополярный мировой порядок

державы «большой тройки» – СССР, США, Великобритания, а также Франция и Китай. Три проигравшие державы – Германия, Япония и Италия, были дискриминированы. Эта система просуществовала 45 лет и мыслилась как полицентричная, но быстро выродилась в биполярную. Началась холодная война. С роспуском Варшавского договора и распадом СССР она превратилась в однополярную, с доминированием Запада, прежде всего США, и, конечно, не учитывала интересы России, а с 2018 г. началась дискриминация и Китая. Февраль 2022 г. можно считать формальной датой ухода в прошлое однополярного мира.

Табл. 1. Система международных отношений (мировой порядок)

Система международных отношений	Период	Гаранты	Особенности
Венская, после Наполеоновских войн	1815–1914 99 лет	Россия, Австрия, Пруссия, Франция, Великобритания	Принцип сохранения баланса сил. Сформировано понятие "великая держава". Оформление многосторонней дипломатии. Однородность участников – все члены "европейского концерта" – монархии
Версальская, после Первой мировой войны	1918–1939 21 год	Франция, Великобритания, США	Впервые к великим державам присоединились неевропейские государства – США и Япония. Создание наднациональной организации – Лиги Наций. Дискриминация побеждённых государств
Ялтинско-Потсдамская, после Второй мировой войны	1945–1991 46 лет	СССР, США, Великобритания, Франция, Китай	Биполярность, ядерное сдерживание, идеологическая и политическая конфронтация. Создание международных институтов: ООН, МВФ, Всемирного банка и проч.
Однополярная (Вашингтонский консенсус), после холодной войны	1992–2022 30 лет	США – единолично	Сформировалась без мирного договора после окончания холодной войны. Отсутствует концептуальная, институциональная и юридическая основа

Источник: систематизация А.А. Дынкина, ИМЭМО РАН.

Сегодня можно прогнозировать, что до обретения устойчивости новой постоднополярной системой пройдёт не менее 10 лет.

Какие долгие глобальные макротрансформации видны сегодня?

Центр экономической гравитации – пространственный индикатор экономической силы государств, заимствованный из физики. Упрощая, можно сказать, что это географическая точка равновесия ВВП, торговых и инвестиционных потоков стран. На рисунке 1 представлена карта смещения планетарного центра экономической гравитации за тысячу с лишним лет. Оно началось в Центральной Азии, на территории Газневидского государства (современный Афганистан). Затем центр сместился на северо-запад, а разруха в послевоенной Европе резко (всего за 10 лет) вытолкнула его на Запад, в район Гренландии. Затем он развернулся на Восток. Самый резкий сдвиг, в 2000–2010 гг., со склонением на юго-восток связан с возвышением Китая. Центр экономической гравитации практически вернулся по меридиану, но остался севернее точки старта более чем на 2000 км, что говорит о возврате к тысячелетнему балансу экономической силы между Западом и Востоком.



Рис. 1. "Путешествие" центра трёхмерной экономической гравитации

Статистические расчёты ИМЭМО РАН за 60 мирных лет (1960–2021гг.) говорят об устойчивости широтного (горизонтального) положения центра. Это указывает на относительно стабильную пропорцию производства ВВП странами географического Юга и странами Севера при ведущем экономическом весе Северного полушария. Сдвиг на Восток также отчётливо подтвердился.

Согласно нашим прогнозам до 2050 г., будущее положение планетарного центра экономической активности окажется на границе Индии и Китая. Этот метод анализа показывает высокую инерционность во времени и географическую монотонность изменений балансов экономической силы государств, а также свидетельствует о том, что войны могут относительно резко деформировать естественный ход вещей.

Метод центра гравитации можно применить и к арсеналам стратегических и тактических вооружений (рис. 2). Так, в период Карибского кризиса США об-

ладали огромным преимуществом, но затем прослеживается чёткий северо-восточный маршрут – создание превосходящего ядерного потенциала в СССР. С началом контроля над вооружениями (1993) возникла возвратная петля с направлением на юго-запад. Затем выраж на восток с предполагаемым склонением к югу: эта тенденция отражает рост ядерных арсеналов Индии, Пакистана, Северной Кореи и бурное строительство стратегических и тактических ядерных сил Китаем. Центр военной гравитации движется вслед за экономическим центром с лагом в 20 лет и отражает геополитические амбиции азиатских держав. Эти интерпретации однозначно говорят о конце однополярности и позволяют говорить об установлении многополярности.



Рис. 2. Движение центра гравитации ядерного арсенала

Технологии. Политики, как правило, технооптимисты. Б. Обама предсказывал, что 3D-печать перевернёт мир [6]. Дж. Буш-мл. уверял, что расшифровка генома произведёт революцию в медицине [7]. Сплошные фальстарты.

Экономисты традиционно измеряют темпы технологического прогресса (ТП) с помощью показателя совокупной факторной производительности (СФП). Упрощая, это та часть экономического роста, которая объясняется не увеличением затрат факторов производства – труда и капитала, а повышением эффективности их использования. Под технологическим прогрессом понимается не только собственно генерация новых научных и технологических идей, но обязательно их массовое тиражирование. Без экономической верификации результатов широкого распространения нововведений научные или технологические достижения остаются в истории как блестящие технологические прорывы, которые имеют локальное экономическое воздействие, но дают повод для публицистических (в лучшем случае) обобщений в виде "четвёртой промышленной революции" или "шестого уклада". Статистические замеры строятся по данным стран – технологических лидеров, в то время как у стран догоняющего развития есть резерв для роста, а именно приближение к фронтиру ТП, то есть освоение и улучшение уже имеющихся идей и технологий. Технологические лидеры тратят больше ресурсов на продвижение фронта ТП, тогда как догоняющие, условно говоря, могут ускоряться с меньшими затратами, находясь в "аэродинамической тени" лидеров.

Динамика прироста индикатора СФП в развитых странах на протяжении многих лет устойчиво снижается, это особенно заметно с середины 2000-х годов. Сегодня он ниже 1.5% и даже 1% (рис. 3). Сходная картина резкого замедления СФП наблюдалась и в Китае. Консенсусная интерпретация этой статистики сводится к тому, что основные эффекты третьей промышленной революции (то есть компьютерной революции) оказались по большей части исчерпаны, а новых прорывных технологий всеобщего назначения (таких как электричество, двигатели внутреннего сгорания или компьютеры и мобильная связь) не появилось.

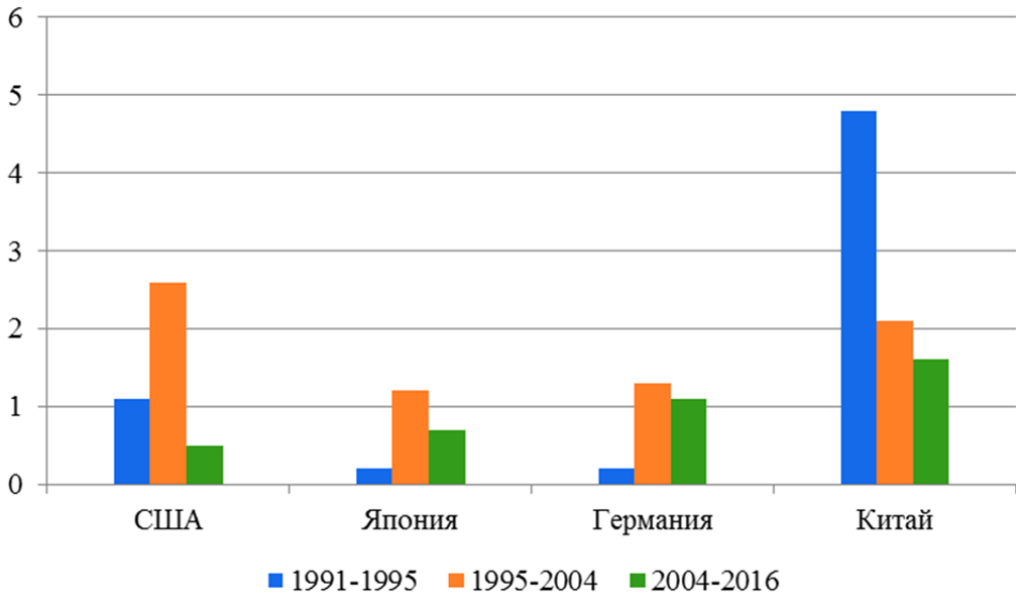


Рис. 3. Среднегодовые темпы прироста общей факторной производительности, %

Однако, похоже, что интеллектуализация технологий, подходов к управлению проектами, информатизация просто не укладываются в сложившиеся много лет назад взгляды на прогресс исключительно в традиционных факторных категориях. Растут масштабы знаний, происходит формирование новых специальностей, возрастает роль эмоционального интеллекта, когнитивных функций. Всё это драматически меняет структуру капитальных активов (рис. 4). С начала XXI в. и до кризиса 2008 г. (2000–2007 гг.) больше 50% увеличения вклада капитала (инвестиций) в рост выпуска продукции приходилось на оборудование, а в 2019–2021 гг. почти 63% такого увеличения давали уже активы с интеллектуальной собственностью. Этот результат наших исследований говорит о перефокусировке технологического прогресса с конечной продукции на интеллектуальные технологии, что позволяет производить спектр инновационных продуктов и услуг, ориентированных на высоко сегментированный спрос.

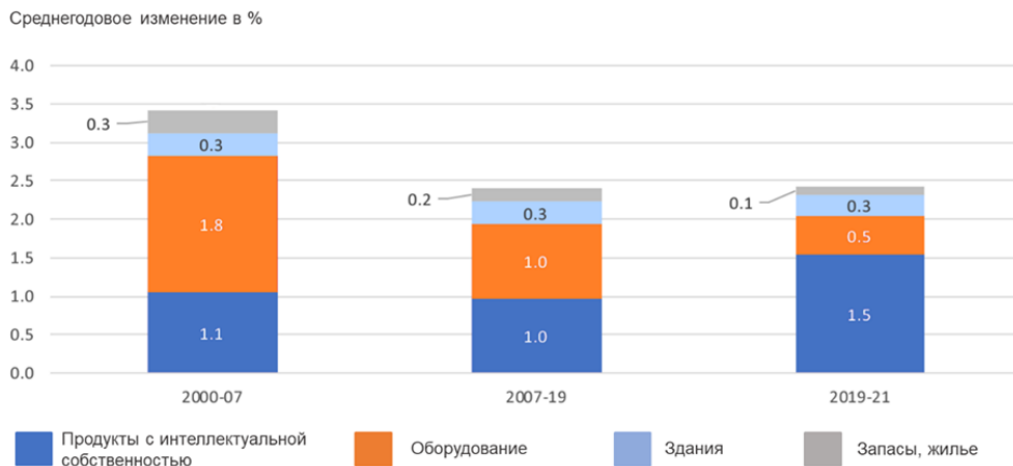


Рис. 4. Трансформация структуры капитала в частном секторе США

Сейчас возникли надежды на то, что темпы технологического прогресса могут ускориться под влиянием разработки технологий искусственного интеллекта (ИИ), которые дадут старт новой промышленной революции. Косвенным признаком её приближения служит резкий рост в 2020–2022 гг. индексов возникновения и гибели компаний в американской экономике [8]. Усилился и перелив рабочей силы из теряющих эффективность компаний в корпорации с увеличивающейся долей рынка. Это своего рода опережающие индикаторы, которые свидетельствуют о приближении структурных результатов ТП. Похожие события происходили 30 лет тому назад, на пороге компьютерной революции. Отмеченная выше интеллектуализация основного капитала, в использовании которого будет применяться доверенный искусственный интеллект, придаёт реалистичность этим надеждам. Кроме того, ИИ – одна из критических областей технологического суверенитета. Неслучайно В.В. Путин назвал ИИ "сквозной, универсальной и, по сути, революционной технологией" [9]. Президент России объявил о подготовке новой редакции Национальной стратегии развития ИИ и соответствующего указа. Думаю, что подобная фокусировка приоритета оправдана. Опыт КНР в полупроводниковой гонке – неплохая модель такой фокусировки (рис. 5). Её характерная черта – ориентация на компании как драйверы развития при массивной, кумулятивно нарастающей господдержке.

Американская стратегия сдерживания технологического развития России (по всем направлениям) и Китая (в сфере полупроводников, искусственного интеллекта, квантовых вычислений) ведёт к ожесточённой конкуренции в сфере высоких технологий, чреватой фрагментацией, различием технических стандартов, юридических норм и правил. И это аргумент в пользу новой биполярности.

²Дирижизм – политика активного вмешательства в управление экономикой со стороны государства в середине 40-х годов XX в. во Франции и Великобритании.



Рис. 5. Фокусировка на приоритетах КНР (гонка нанометров)

Демографические процессы. К середине века Россия, согласно прогнозам ООН, по численности населения опустится с нынешнего 9 места на 14-е, оставаясь при этом самой населённой страной в Европе [10]. Более существенной проблемой представляется старение населения. Увеличивается доля пожилых людей, а они, как правило, находятся вне рынка труда. Лидеры этого процесса сегодня Япония, Испания и Италия. Но не минуют этого ни Китай, ни Индия. Нигерия, по-видимому, единственная крупная страна, где рост населения и повышение доли молодёжи в нём продолжатся до конца XXI в. Уже сегодня каждый 10-й житель планеты старше 65 лет, а индустрия здравоохранения составляет 10% глобального ВВП [11].

В этом смысле трудно переоценить значение медицинских технологий, которые способны увеличивать не просто продолжительность, но продолжительность здоровой и социально активной жизни людей и тем самым ослаблять напряжённость на рынке труда. Потребности всегда разворачивают технологический прогресс в направлении преодоления ограничений экономического роста по самому дефицитному ресурсу в каждый конкретный исторический период.

Серьёзный риск, связанный с проблемой старения, – торможение инновационной активности, так как именно люди в возрасте до 40 лет, доля которых будет падать в течение всего XXI в., – основные генераторы и потребители инноваций. Пока этот риск смягчается многочисленностью молодёжных когорт в Китае и Индии. Именно поэтому в этих двух странах фиксируется почти экспоненциальный рост патентования, массированного реинжиниринга и соответственно среднего класса. Демографическая ситуация обеспечивает Индии преимущество примерно до 2060 г., это уже видно по темпам роста экономики. В сочетании с переносом в страну высокотехнологических инвестиций, а также благодаря вкладу индийской диаспоры у Индии хорошие перспективы, поэтому от её позиции во многом зависит будущая архитектура мирового порядка независимо от сценария. Американцы это понимают и в последние 20 лет буквально вцепились в эту страну.

Считаю, что Российской академии наук следует резко усилить научные и образовательные связи с Индией и с её динамично развивающимися соседями по Юго-Восточной Азии – Вьетнамом, Малайзией, Индонезией. Ожидаемая напряжённость на мировом рынке новых поколений инноваторов обостряет межстрановую конкуренцию за этот самый дефицитный ресурс. Думаю, мировой авторитет РАН – мощный инструмент по привлечению и удержанию молодёжи, формированию её творческой мотивации. Мы должны ещё раз заявить об этом в преддверии 300-летия Академии наук.

Идеология. Дирижизм², или этатизм, – основной тренд и в экономической теории, и в экономической политике на Западе. Разворот в сторону огосударствления экономики начался с разочаровывающих результатов Вашингтонского консенсуса по переходу от плана к рынку в постсоциалистических странах. Финансовый кризис 2008–2009 гг. закрепил тренд на огосударствление, а пандемия коронавируса придала ему невиданные масштабы. В США в первых рядах наиболее активных сторонников усиления вмешательства государства во все сферы жизни находятся демократы, но не только они. Республиканцы также активно пропагандируют промышленную политику, отказ от свободы торговли, установление жёсткого контроля над технологическими IT-гигантами и т.д.

Растёт популярность установок так называемого культурного марксизма [12]. Его истоки – в критической теории Франкфуртской школы (Г. Маркузе, Э. Фромм и др.). Эти установки перемещаются из области идейно-теоретических противостояний в сферу политического активизма. Так, лидеры движения BLM открыто преподносят себя в качестве "тренированных марксистских организаторов". Суть стратегии, которая вдохновляется "культурным марксизмом", – отказ от лобовой политической борьбы на баррикадах, поскольку пролетариат "перекуплен буржуазией и уже не ни на что не способен", да и ряды классического пролетариата стремительно редеют. Направление социальных перемен задают обладающие личностным ресурсом интеллектуалы, с одной стороны, и стремящиеся утвердить своё "право на идентичность" маргиналы, с другой. Именно такое парадоксальное сочетание: интеллектуалы и маргиналы. Их стратегия – ползучий захват основных институтов власти и общества путём встраивания в массовое сознание "правильных" установок. В США борцы за политическую корректность уже подчинили себе систему школьного образования, университетские кампусы, ведущие СМИ, сферу развлечений (Голливуд). Госслужащих заставляют проходить курсы критической расовой теории, в соответствии с которой постулируется не только социально конструируемая природа расы и признание системного расизма [13], но и чувство вины одной части общества перед другой, что якобы требует возмещения морального и материального ущерба через адекватную этой идеологии организацию общественной жизни.

Подобные установки проталкиваются и в общественный дискурс. В нём уже доминируют идеи радикального феминизма, культуры отмены, антисистемного расизма и постколониализма, борьбы с глобальным потеплением и вообще "зелёной" повестки. Как следствие энергетический переход мотивируется скорее идеологией, а не сравнительной рыночной эффективностью энергоносителей. В формировании "зелёной" повестки конкурируют разные эколого-политические

дискурсы – эконационализм, экоимпериализм, "зелёный" рост, которые размывают привлекательность доминирующей модели устойчивого развития.

Политическая корректность – универсальное оружие в борьбе с инакомыслием. В крупных компаниях, госучреждениях и университетах разрабатываются и внедряются стратегии продвижения принципов DEI (Diversity, Equity, and Inclusion – разнообразие, справедливость, инклюзивность), а это инструменты идеологического контроля над работниками. Университеты обязаны подавать отчёты о соответствии таким принципам и деятельности по их продвижению, что вызывает растущую критику в связи с нарушением академических свобод и идеологическим конформизмом [14]. Однако идейная цензура уже пустила глубокие корни в самых разных сферах общественной жизни, а вопрос о её соотношении с демократией признаётся неполиткорректным. *Пересмотр культурной нормы* сам по себе стал культурной нормой, и это способствует углублению размежевания в современных разделённых обществах, в первую очередь в США, но также и в странах Старой Европы [15].

С новой повесткой связан ещё один любопытный феномен. В XX в. левые были прогрессистами – выступали за ускорение экономического роста, за быстрый технологический прогресс, за повышение благосостояния общества. Теперь среди них популярны идеи нулевого или даже отрицательного роста, "построста" [16]. Подобные идеологические установки обостряют вопрос об отношении к бедным странам Юга, но также и к своим бедным: социальное государство для всех в эту повестку не вписывается. Наоборот, оно становится избирательным орудием поддержки "правильных" меньшинств. Это создаёт питательную почву для укрепления позиций популистских сил.

Такие противоречивые внутривнутриполитические процессы деформируют и общественное сознание, и принятие внутривнутриполитических и внешнеполитических решений. Новые элиты крайне идеологизированы. Политическая система США всё менее эффективно регулирует экономику. Два рейтинговых агентства – Standard & Poor's и Fitch Ratings – понизили кредитный рейтинг США с высшего уровня AAA до AA+. В ноябре 2023 г. рейтинговое агентство Moody's понизило прогноз кредитного рейтинга США со "стабильного" на "негативный". Все три агентства едины в определении главной причины такого понижения – нарастающей дисфункциональности политической системы. Во внешней сфере с начала века США разрушили 16 важнейших международных договоров и соглашений по контролю над вооружениями, по мировой торговле, климату, Арктике [17]. Другими словами, однополярный мировой порядок с его неограниченными аппетитами к экспансии привёл мир в зону сверхвысоких рисков. А доминирующие на Западе идеологемы несовместимы ни с российскими, ни с китайскими ценностно-политическими проектами. Поэтому в сфере идеологий будет нарастать жёсткая конфронтация, а это ещё один шаг к биполярности.

Трансформации 2020-х годов. 2023 год показал, что мировая система не может ждать, пока Запад придёт к осознанию бесперспективности не только эскалации, но и продолжения украинского конфликта. На встрече стран G20 в Нью-Дели мировое сообщество сделало первый шаг к постглобальному, постукраинскому миру. Имеется в виду, что глобализация по-американски, глобальное управление, на основе

западных правил (rules based order) остаётся в прошлом. Авторитет премьер-министра Индии Нарендра Моди не позволил Западу провести на саммите G20 конфронтационную резолюцию. В Сан-Франциско, на саммите стран АТЭС, ситуация на Украине также выпала и из обсуждения, и из заключительной резолюции. Как заявил недавно Др. Джайшанкар, министр иностранных дел Индии, долгосрочные последствия конфликтов в Ираке и Афганистане и относительное снижение экономического веса США – симптомы наступления полицентричного мира [18].

Важное событие 2023 г. из этого ряда – расширение объединения БРИКС (рис. 6). Потенциально его совокупная экономическая мощь достигает 67 трлн долл., что превышает суммарный ВВП стран "семёрки". А ведь ещё 17 стран находятся в "листе ожидания". БРИКС по ряду важнейших рынков (металлы, автомобилестроение, нефть, минеральные удобрения и др.) превосходит или не уступает потенциалу стран G7. Перед Россией, к которой переходит председательство в БРИКС в 2024 г., стоит задача активизации согласованной экономической и технологической политики стран-членов. Такая политика – институциональный блок будущего полицентричного мира.

БРИКС ВВП по ППС, млрд.долл. 2023		Кандидаты на вступление в 2024 г.	В листе ожидания
Россия	5 056,5	Египет	Алжир, Бангладеш, Бахрейн, Белоруссия, Боливия, Венесуэла, Вьетнам, Куба, Гондурас, Индонезия, Казахстан, Кувейт, Марокко, Нигерия, Государство Палестина, Сенегал, Таиланд
Китай	32 897,9	Иран	
Индия	13 119,6	ОАЭ	
Бразилия	4 101	Саудовская Аравия	
ЮАР	997,4	Эфиопия	

Потенциал БРИКС+ в 2024 г. 67 трлн. долл.; G7 – 54 трлн долл. (Прогноз МВФ 2024 г. по ППС)

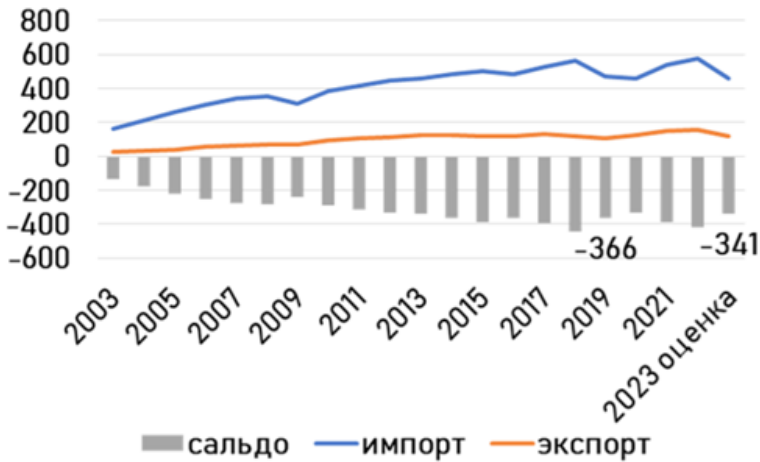
Рынки	БРИКС+ в 2024		G7	
	Доля в мировом производстве, %	Доля в мировом потреблении, %	Доля в мировом производстве, %	Доля в мировом потреблении, %
Металлургия	70	65	14	14
Нефть	44	36	24	31
Минеральные удобрения	51	53	19	17
Продовольствие	57	58	15	16

Рис. 6. Экономический потенциал стран БРИКС

Каким будет грядущий миропорядок? Какая из двух тенденций – к биполярности или полицентризму – возьмёт верх, сегодня сказать сложно. Скорее возможно их сопряжение: скажем, на глобальном Севере – жёсткая биполярность, а на глобальном Юге – полицентризм. На Севере биполярность – военная, экономическая и технологическая – уже просматривается. Любопытно, что в Нью-Дели принято относить КНР к странам Севера [19]. Такая точка зрения имеет под собой основания, поскольку Китай по показателю ВВП на душу населения (12 541 долл.) далеко опережает страны глобального Юга. Например, в Индии этот показатель равен 2 612 долл. [20]. За последние 10 лет Китай в ШОС, а США в Евроатлан-

тике заметно вырвались вперёд. В совокупности на КНР и США приходится 42% номинального мирового ВВП, 56% мировых затрат на НИОКР, 53% мировых оборонных расходов. Разъединение экономик США и Китая идёт пока не в области торговли, а по каналу технологий и инвестиций. В первой половине 2023 г. приток прямых иностранных инвестиций в КНР упал до исторического минимума (рис. 7). Одновременно макрорегион АТР приобретает большую внутреннюю динамику, которая отличает его от Европы и Северной Америки (рис. 8).

США: динамика товарной торговли с Китаем, млрд. долл.



Динамика притока прямых иностранных инвестиций в экономику КНР (по данным платежного баланса), млрд. долл.

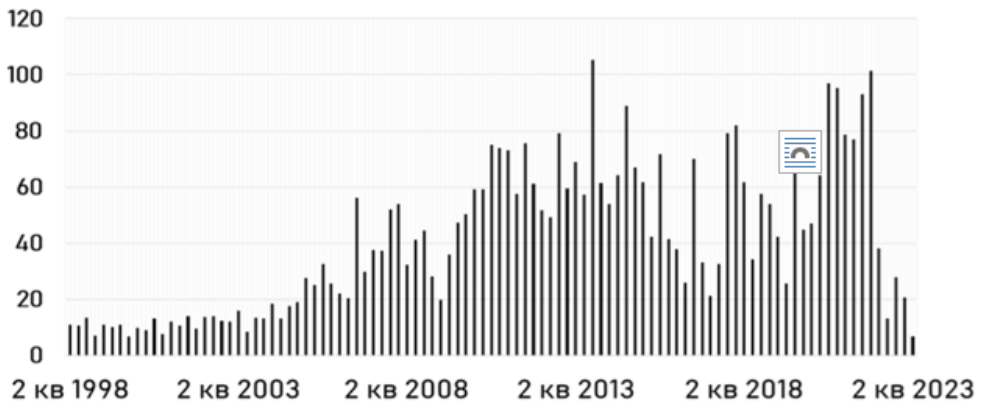
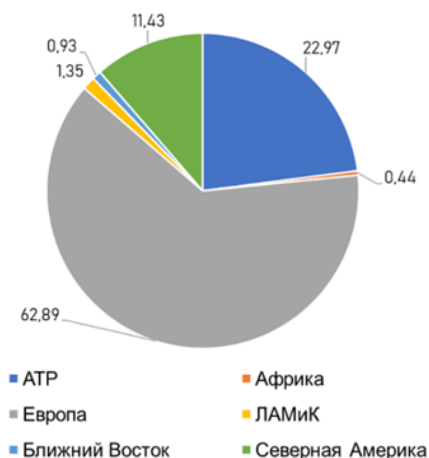


Рис. 7. Разъединение экономик Китая и США

Удельный вес региона в совокупной внутрирегиональной торговле, в %. 1990 г.



Удельный вес региона в совокупной внутрирегиональной торговле, в %. 2021 г.

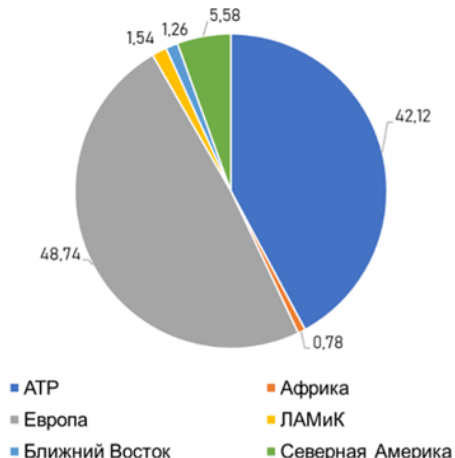


Рис. 8. Внутрирегиональная торговля: сдвиг в АТР

В то же время сохраняется и тренд к политической полицентричности. Скажем, по палестинско-израильскому конфликту Нью-Дели и Анкара изначально заняли диаметрально противоположные позиции. Это тоже контуры постоднопольности, когда новые центры силы, принимая решения, всё больше руководствуются собственными интересами, а не "правилами" либо советами Вашингтона, Пекина или Москвы. Думаю, не стоит надеяться, что будущий мировой порядок окажется бесконфликтным. Мир сохранит многообразие, различие потенциалов стран и их конкуренцию. Важно, чтобы, несмотря на это, уважались интересы больших и малых стран, а проблемы решались путём конструктивного диалога.

Россия первая бросила вызов пресловутому однополярному мировому порядку. Сегодня можно констатировать, что большинство стран глобального Юга поддержали этот вызов, не согласились с западной трактовкой конфликта на Украине. Будущий мировой порядок формируется на наших глазах. Уверен, что многополярный мир, каким его видел академик Евгений Примаков, предпочтительнее для России как развитой, самодостаточной и суверенной страны. Но такой мир требует и новой системы глобального управления. Её институты сегодня укрепляются: это БРИКС, G20, ШОС, ЕАЭС. Скажем, у стран-членов ЕАЭС (Россия, Белоруссия, Казахстан, Армения, Кыргызстан) дела идут гораздо лучше, чем у пяти других постсоветских стран. В 2022 г. ВВП на душу населения в странах Евразийского Союза в 3.5 раза превышал средний аналогичный показатель для пяти других стран СНГ, но не членов ЕАЭС (Азербайджан, Молдавия, Таджикистан, Туркмения, Узбекистан) (рис. 9). Наша стратегия в этих организациях требует обоснованного подхода и видения с социально-экономической, научно-технологической и политической точек зрения. И здесь большая роль должна принадлежать РАН как лидеру научного и экспертного сообщества.

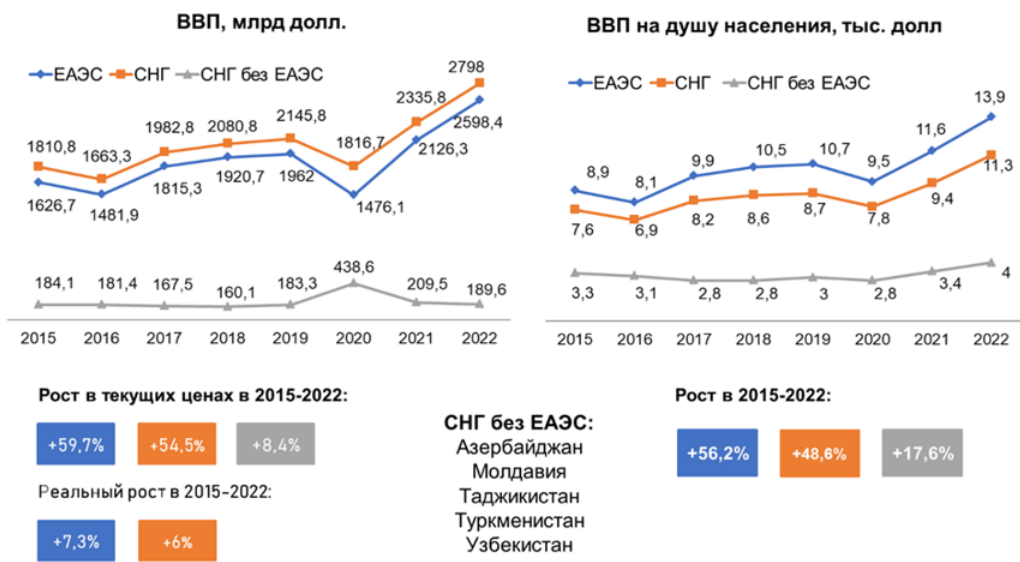


Рис. 9. Экономическая динамика стран EAЭС и СНГ

Подводя итоги, скажу, что есть весомые аргументы как в пользу *многополярности*, так и *новой биполярности*. Похожими вопросами задаются ведущие американские эксперты: "Какой порядок придёт на смену разрушающейся системе американского лидерства далеко не определено. Удастся ли Китаю сместить Соединённые Штаты с позиции глобального гегемона и стать мировым лидером по новым правилам, написанным иероглифами? Станет ли мир биполярным, разделённым на два более или менее жёстко определённых блока, ведомыми США и Китаем? Возникнет ли в действительности многополярный мир на основе нескольких государств или их коалиций более или менее равных по силе?" [21] – на эти вопросы ещё предстоит дать ответ, окончательные выводы здесь пока преждевременны. В условиях столь высокой неопределённости следует быть готовыми к любому сценарию развития событий. Основой такой готовности является стратегическая автономия России, опирающаяся на военно-стратегический паритет с Соединёнными Штатами.

Фундаментальный вопрос, на который у меня сегодня нет ответа: насколько вероятно *установление нового мирового порядка* без большой войны? В 2024 г. в 50 странах мира, на которые приходится более 45% мирового ВВП и населения, пройдут президентские или парламентские выборы. Возможно, их результаты прояснят наше видение ближайшего будущего.

Автор выражает благодарность коллегам по ИМЭМО РАН Р.И. Капелюшникову, В.Д. Миловидову, И.С. Семененко, И.В. Данилину, С.В. Жукову, К.В. Богданову, А.П. Гучановой за консультации и помощь в подготовке статьи.

Литература

1. Примаков Е.М. Международные отношения накануне XXI века: проблемы, перспективы // *Международная жизнь*. 1996. № 10. С. 3–13.
Primakov E.M. Mezhdunarodnye otnosheniya nakanune XXI veka: problemy, perspektivy [International Relations on the eve of 21st century: problems, prospects] // *Mezhdunarodnaya zhizn'*. 1996. № 10. S. 3–13.
2. Huntington S. The Clash of Civilization? // *Foreign Affairs*. 1993. Summer. V. 72. № 3. P. 22–49.
3. Dynkin A., Burrows M. Here's the Playbook for Getting U.S.–Russian Cooperation Back on Track // *The National Interest*. 2015. <https://nationalinterest.org/feature/heres-the-playbook-getting-us-russian-cooperation-back-track-14527> (accessed 30.11.2023).
4. Yan Xuetong. Political Leadership and Power Redistribution // *The Chinese Journal of International Politics*. 2016. V. 9. № 1. P. 1–26.
5. Kupchan C. Bipolarity is Back: Why It Matters // *The Washington Quarterly*. 2021. 44:4, 123–139. DOI: 10.1080/0163660X.2021.2020457
6. Remarks by the President in the State of the Union Address. 2013. <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2013/02/12/remarks-president-state-union-address> (accessed 30.11.2023).
7. Remarks by the President on Human Cloning Legislation. 2002. <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/releases/2002/04/20020410-4.html> (accessed 30.11.2023).
8. US Bureau of Labor Statistics. Private sector establishments birth and death, seasonally adjusted. October 25, 2023. <https://www.bls.gov/news.release/cewbd.t08.htm> (accessed 1.12.2023).
9. Конференция "Путешествие в мир искусственного интеллекта". Ноябрь 2023 г. <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/72811> (accessed 1.12.2023).
Konferencia "Puteshestvie v mir iskusstvennogo intellekta". Noyabr' 2023. [Conference "Artificial Intelligence Journey" November 2023.]
10. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). *World Population Prospects 2022*, Online Edition. <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/MostUsed/> (accessed 2.12.2023).
11. World Health Organization. Global Health Expenditure database. <https://apps.who.int/nha/database> (accessed 2.12.2023).
12. Mendenhall A. Cultural Marxism is Real // *The James G. Martin Center for Academic Renewal*. 2019. Jan 4. <https://www.jamesgmartin.center/2019/01/cultural-marxism-is-real/> (accessed 2.12.2023).
13. Delgado R., Stefancic J. *Critical Race Theory. An Introduction*. 3rd edition. New York: New York University Press, 2017.
14. Academic Freedom Alliance Calls for an End to Required Diversity Statements. August 22, 2022. Press Release. <https://academicfreedom.org/afa-calls-for-an-end-to-required-diversity-statements/> (accessed 4.12.2023).
15. Семенов И.С. Разделённые общества // *Идентичность: личность, общество, политика. Новые контуры исследовательского поля* / Отв. ред. И.С. Семенов. М.: Весь мир, 2023. С. 27–35.

Semenenko I.S. Razdelyonnye obshchestva // Identichnost': lichnost', obshchestvo, politika. Novye kontury issledovatel'skogo polya [Identity: The Individual, Society, and Politics. New Outlines of the Research Field] / Otv. red. I.S. Semenenko. M.: Ves' mir, 2023. S. 27–35.

16. Buchs M., Koch M. Critiques of Growth // M. Buchs, M. Koch. Postgrowth and Wellbeing: Challenges to Sustainable Welfare. London: Palgrave Macmillan Cham, 2017. P 39–56.

17. Дынкин А.А. Международная турбулентность и Россия // Вестник РАН. 2020. № 3. С. 208–219. DOI 10.31857/S0869587320030032

Dynkin A.A. Mezhdunarodnaya tubulentnost' i Rossiya [International Turbulence and Russia] // Vestnik RAN. 2020. № 3. С. 208–219. DOI 10.31857/S0869587320030032

18. Dominance of US is changing... Washington is adjusting to multipolar world': Jaishankar // Hindustan Times. September 2023. <https://www.hindustantimes.com/india-news/dominance-of-us-is-changing-washington-is-adjusting-to-multipolar-world-jaishankar-101695821761148.html> (accessed 4.12.2023).

19. Jaishankar S. The India Way: Strategies for an Uncertain World. Harper Collins, 2020. P. 240.

20. World Economic Outlook Database. International Monetary Fund. October 2023. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2023/October> (accessed 4.12.2023).

21. Graham T. Getting Russia Right. UK: Polity Books, 2023.

ДОКЛАД

АКАДЕМИКА РАН Я.П. ЛОБАЧЕВСКОГО

«НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

Доктрина продовольственной безопасности. Россия обладает огромным природным потенциалом, который включает около 200 млн га сельхозугодий, 120 млн га продуктивной пашни, более 50% мировых чернозёмов, 20% пресной воды. На каждого жителя страны приходится 1.5 га сельскохозяйственных угодий, что почти в 3 раза превышает мировые показатели. Имея такие ресурсы, можно не только снабдить качественным продовольствием собственное население, но и занять большой сегмент мирового продовольственного рынка [1]. Одна из главных ролей в достижении этой цели отводится сельскохозяйственной науке.

В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации наука и производство должны обеспечить граждан качественными отечественными продуктами на 90–95% [2]. Достичь продовольственного суверенитета можно путём внедрения в производство приоритетных инновационных технологий и технических средств.

Разнообразие почвенно-климатических условий обуславливает потребность в регионально-ориентированных, адаптивных технологиях, которые создаются в результате комплексных фундаментальных и поисковых научных исследований Отделения сельскохозяйственных наук РАН (ОСХН РАН). Федеральная научно-техническая программа (ФНТП) развития сельского хозяйства на 2017–2030 гг. направлена именно на самообеспечение важнейшими продуктами питания. Её подпрограммы реализуются при активном участии учёных отделения. Это селекция и семеноводство картофеля и сахарной свёклы, получение отечественных кроссов птицы. Кроме того, на завершающем этапе подготовки находятся ещё несколько актуальных подпрограмм. Результаты проведённых исследований создают предпосылки для научно-технологического развития агропромышленного комплекса (АПК) страны.

Показатели состояния сельского хозяйства России. По данным Росстата, в 2022 г. индекс физического объёма сельскохозяйственной продукции составил 110%, в том числе продукции растениеводства – 116%, животноводства – 103%. Это очень весомый результат, достигнутый за последние 10 лет, в течение которых среднегодовой прирост этого показателя составил 3.5%. Валовый годовой сбор зерна стабильно высок – 130–140 млн т. Значительно повысился уровень рентабельности сельскохозяйственных организаций – 25% в 2022 г. Доля прибыльных хозяйств увеличилась до 86% [3].

Наша страна существенно продвинулась в импортозамещении и достижении технологической независимости на внутреннем рынке продовольствия. Однако эта проблема ещё не решена в полной мере, особенно в плане обеспечения отечественным семенным материалом некоторых важных культур, породами скота и птицы, средствами защиты растений, ветеринарными препаратами, пищевыми ингредиентами, сельскохозяйственной техникой и оборудованием. Всё это требует огромного внимания и усилий.

Главной составляющей технологического развития страны и основой применения инновационных технологий служат сохранение и эффективное использование земельных ресурсов, особенно пашни, поскольку именно она определяет показатели производства продукции и экологическую ситуацию.

Сохранение плодородия почв и охрана агроландшафтов. В последние десятилетия почвы во всём мире подвергаются интенсивной деградации, в основном из-за колебания климата, экстремальных природных явлений, несоблюдения норм землепользования и агротехнологий. Эти факторы запускают такие каскадные процессы в агроэкосистемах, как эрозия почвы, нарушение агрохимического и водного баланса. Несвоевременные меры по стабилизации экологической обстановки не могут компенсировать стремительную деградацию. В связи с этим необходимы более активное внедрение восстановительных технологий и создание устойчивых агроэкосистем.

Снижение плодородия почв ввиду крайне недостаточных объёмов внесения органических и минеральных удобрений до сих пор остаётся системной проблемой. В частности, вносится в среднем около 1 т/га органических удобрений при рекомендуемой норме 20–25 т/га [4].

Технологический суверенитет в АПК. Развитие АПК России происходит в условиях острых геополитических и социально-экономических противоречий, поэтому был установлен курс на импортозамещение и технологический суверенитет. Продовольствие становится конвертируемым активом и альтернативой энергоносителям, обеспечивая стабильность внутри страны и мощное влияние на внешние рынки.

Россия экспортирует продовольствие в более чем 140 стран, а валютная выручка достигает 50 млрд долл. в год [5]. Однако, несмотря на рекорды последних лет, в которых велика заслуга учёных РАН и работников сельского хозяйства, современный уровень производства не вполне соответствует потенциалу наших почвенно-земельных ресурсов и устойчивости агроландшафтов, а научные достижения не реализуются должным образом.

Мелиоративный комплекс. Из 120 млн га потенциальных посевных площадей 37 млн выведены из землепользования, частично деградированы и практически не используются. В связи с этим в 2021 г. была утверждена Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации. Она рассчитана на 10 лет, за которые планируется повторно ввести в оборот более 13 млн га. На реализацию этого проекта из бюджета будет направлено свыше 530 млрд руб. [6]. В рамках программы в Почвенном институте им. В.В. Докучаева разработаны государственный стандарт качества почв России, государственный реестр почвенных ресурсов, методология формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия, мониторинга состояния почв, картографирования угодий.

Поскольку огромная роль в защите и улучшении почв принадлежит мелиорации, важно на современной основе возродить мелиоративные технологии и все их компоненты, включая установку гидротехнических сооружений, орошение сухих почв, осушение переувлажнённых, рекультивацию, борьбу с эрозией. Необходимо системно укреплять технологическую базу, используя новейшие научные достижения.

Природоподобные технологии. 2 ноября 2023 г. вышел Указ Президента Российской Федерации о развитии природоподобных технологий, согласно которому оценка, прогнозирование и регулирование антропогенного воздействия на окружающую среду становятся одной из задач научно-технологического развития страны.

Серьёзная экологическая проблема – утилизация отходов животноводства, которые в последнее время позиционируются как побочная продукция отрасли. На базе отечественного оборудования разработаны инновационные технологии для получения и использования органических удобрений из побочных продуктов, а также мобильные технические средства для их внесения в почву (рис. 1). Таким образом, открывается перспектива производства до 400 млн т органических удобрений в год [7].

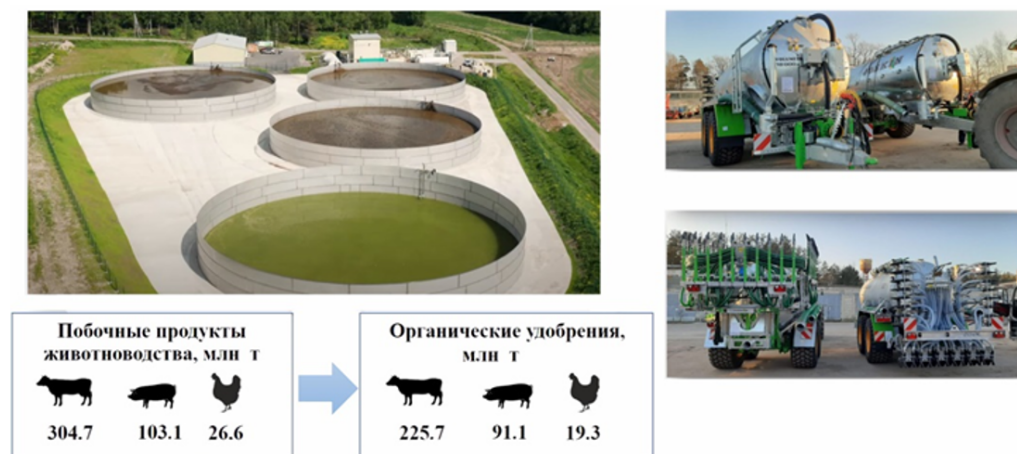


Рис. 1. Научно-производственный центр переработки побочных продуктов животноводства

Генетические технологии и селекционный процесс в растениеводстве. В настоящее время генетические ресурсы, составляющие основу селекции, становятся стратегической базой продовольственной безопасности страны. Ведущая генетическая коллекция растений сосредоточена во Всероссийском институте генетических ресурсов им. Н.И. Вавилова, объём которой – более 320 тыс. уникальных образцов [8]. Благодаря отечественному генофонду учёными ОСХН РАН создано более 10 тыс. сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Все они внесены в Государственный реестр селекционных достижений [9].

Реализация генетического потенциала животных. Важная составляющая технологического развития АПК – научное обеспечение животноводства, включая получение пород и кроссов животных, птиц, аквакультуры, а также современных технологий их разведения и содержания.

Сельскохозяйственные животные играют одну из ключевых ролей в полноценном питании человека. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, они покрывают 40% потребляемого белка и 20% общего количества калорий. Задача учёных – ускорить появление новейших генетических технологий, повысить степень реализации генетического потенциала, вывести новые породы, обеспечить здоровье животных и их репродукцию. К настоящему времени во ВНИИ животноводства им. Л.К. Эрнста (ВИЖ им. Л.К. Эрнста) и его филиалах сформирована сетевая биоресурсная коллекция животных:

- генофондное хранилище криоконсервированной спермы овец и коз (ВНИИ овцеводства и козоводства – филиал Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра);
- криобанк генетических ресурсов лошадей (ВНИИ коневодства);
- криобанк спермы медоносной пчелы (Федеральный научный центр пчеловодства);
- коллекция спермы крупного рогатого скота (ВНИИ генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ВИЖ им. Л.К. Эрнста);
- банк домашних и диких видов животных и птицы (Федеральный исследовательский центр ВИЖ им. Л.К. Эрнста);
- генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур (ВНИИ генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ВИЖ им. Л.К. Эрнста).

Использование этого уникального генетического потенциала в племенной работе позволило получить и апробировать свыше 40 новых высокопродуктивных пород, типов, линий и кроссов животных и птицы [10]. Дальнейшее повышение конкурентоспособности отрасли животноводства может быть достигнуто путём развития генетических и репродуктивных технологий, современных методов лечения, создания тест-систем и вакцин, внедрения роботизированных систем содержания и кормления животных [11].

Системы машин нового поколения. Реальной технико-технологической самодостаточности удалось добиться ещё в 1950–1980-х годах благодаря системе машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства (Всесоюзный институт механизации, ВИМ), которые развивались и дополнялись параллельно с развитием АПК. В настоящее время для обеспечения технологического суверенитета необходимо внедрять современные технические средства, машины и оборудование нового поколения для всех отраслей АПК. Важна активная научная и научно-техническая работа, нужно возродить систему машин для растениеводства и животноводства, безусловно, на новой научной и технологической основе.

Система машин представляет собой научно-обоснованную совокупность технических средств (или типажей) с множеством гармонизированных технических, технологических, экологических, экономических, эксплуатационных параметров [12]. Структурной основой системы машин для растениеводства служат мобильные энергетические средства, или же, по-простому, тракторы, на базе которых формируются комплексы агрегатов. В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ разработана концепция современного трактора – энергонасыщенное, автоматизированное и роботизированное мобильное энергосредство много-

функционального назначения, оснащённое электроприводом или гибридным приводом, мехатронными узлами и агрегатами, системой автоматического вождения на основе технического зрения [13]. С помощью искусственного интеллекта осуществляются управление рабочими процессами и контроль технического состояния как самого энергосредства, так и операционных машин (рис. 2).

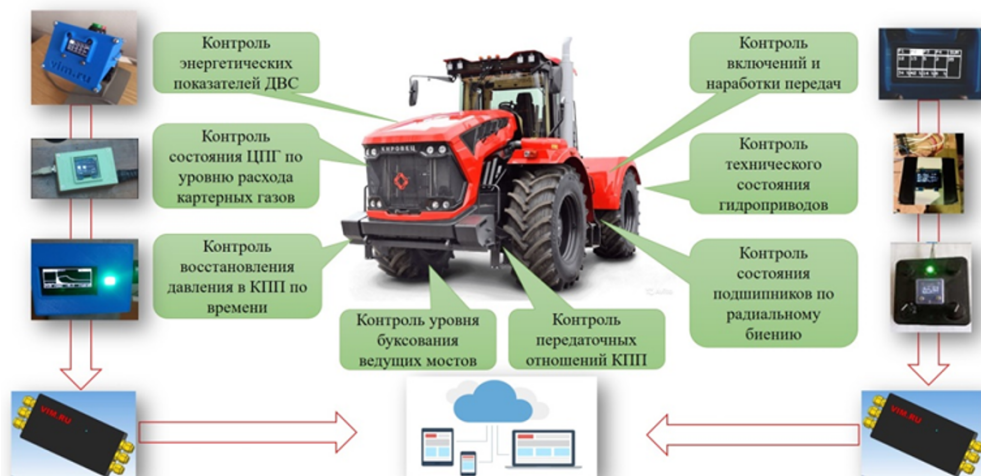


Рис. 2. Система контроля технического состояния мобильных энергосредств

Приоритетные группы технических средств. Поскольку невозможно одновременно сформировать всю совокупность технических средств, разработку системы машин и технологий, на наш взгляд, целесообразно начинать с приоритетных групп техники. В первую очередь это машины и оборудование для селекции, производства картофеля и других овощей, садоводства, а также реабилитации деградированных угодий и рекультивации земель. Безусловно, новая система должна строиться на современной технологической основе. Эта работа уже проводится совместно с ведущими институтами Российской академии наук. Особое внимание уделяется автоматизированным и роботизированным машинам и агрегатам, интеллектуальной технике, цифровым технологиям, биомашинным устройствам, электронной элементной базе, применению новых материалов в конструкциях машин.

Беспилотные наземные и летательные аппараты стремительно внедрились во многие сферы деятельности, в том числе в сельское хозяйство (рис. 3). Ведётся поиск различных платформенных решений, создаются конструктивно-технологические схемы, методы мониторинга, технические средства для оценки состояния полей, почвы, растений, урожайности, картографирования, контроля качества различных технологических операций [14]. Кроме того, пристальное внимание уделяется технологиям, техническим средствам и программному обеспечению выполнения точных операций с целью, например, оперативного подавления очага заболеваний или вредителей, локального внесения химических средств и минеральных удобрений [15].



Рис. 3. Беспилотное мобильное роботехническое средство

Получение функциональных продуктов питания. Другая важная проблема, которой занимаются учёные ОСХН РАН, – производство функциональных продуктов питания, хлебобулочных, мясных, молочных продуктов, безалкогольных и спиртных напитков [16].

Коллективом Секции хранения и переработки сельскохозяйственной продукции совместно с Отделением медицинских наук РАН предложена парадигма "единого здоровья" на основе качественного безопасного питания [17]. Идея заключается в тесной взаимосвязи элементов биосферы при формировании состава и свойств сырья, внедрении экологически чистых технологий производства продуктов путём сквозного контроля технологической дисциплины и загрязнений на всех этапах: обработка почвы, возделывание растений, внесение удобрений и химикатов, уборка, послеуборочная обработка, пищевые производства [18]. Реализация парадигмы зависит от слаженного участия в ней учёных нескольких отделений Академии наук.

Один из проблемных вопросов – оборудование пищевых производств. В последние годы предпринимаются попытки создания отечественного инновационного оборудования. На рисунке 4 показаны опытно-промышленные агрегаты для производства соков и молочных продуктов, сконструированные учёными ОСХН РАН.



Рис. 4. Передвижной цех по производству молочных продуктов

Экономические модели АПК и социального развития села. Отделение сельскохозяйственных наук РАН также занимается решением важного блока научных проблем, связанных с разработкой эффективных экономических моделей развития АПК, рационального землепользования и землеустройства, методов и механизмов регулирования земельных отношений, социального развития села [19].

Научные кадры высшей квалификации. Без хорошо подготовленных специалистов невозможно осуществлять научные исследования, достичь научно-технического прогресса, формировать научную среду в целом. Возращать молодое поколение следует всем научным организациям, если они хотят остаться на плаву и успешно развиваться. Конечно, можно сожалеть об отсутствии мотивации у молодежи и ссылаться на существующие проблемы: маленькие аспирантские стипендии, недостаточность контрольных цифр приёма, неясные перспективы и т.д. Однако в первую очередь нужно формировать привлекательную молодёжную научную среду, хотя это непростая задача. В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ этим прицельно занимаются уже более 10 лет.

Благоприятная научная среда включает множество компонентов. Это магистратура, в которой сочетаются образовательные программы и работа в лабораториях, набор перспективных специальностей в аспирантуре и докторантуре, диссертационные советы, научные журналы, современные приборы и оборудование, хорошо оснащённые рабочие места. Огромную роль играют социальная поддержка молодёжи, обеспечение жильём, содействие в получении субсидий на приобретение жилья, научные гранты, участие в конкурсах на получение именных стипендий. Не стоит забывать и об организации активной внутренней жизни, спортивных и общественных мероприятий, поддержании своеобразного соперничества между коллективами.

Труд наставников, свободная творческая атмосфера, мотивация и чёткая перспектива, пример старших товарищей – вчерашних аспирантов, а ныне докторов наук, выросших в руководителей научных подразделений, общая атмосфера – всё это генерирует новое поколение молодых учёных. Кроме того, научная среда несёт воспитательную функцию, формирует сплочённость и патриотизм [20].

В 2023 г. конкурс в магистратуру и аспирантуру ВИМ составил 5 человек на место. Молодёжный научный коллектив за последние 5 лет увеличился втрое и сейчас насчитывает около 300 человек. Стремятся привлечь молодых учёных и Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Федеральный исследовательский центр животноводства им. Л.К. Эрнста, Всероссийский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН и другие учреждения [21]. Мы должны продолжать двигаться в этом направлении, чтобы вырастить достойную и надёжную смену, сохранить преемственность научных школ и богатых научных и духовных традиций Российской академии наук.

Литература

1. Алтухов А.И. (2024) Агропромышленный комплекс страны: состояние и возможности развития // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. № 1 (107). С. 7–24.

Altukhov A.I. (2024) Agro-industrial complex of the country: state and development opportunities. Economics, labor, management in agriculture, no. 1 (107), pp. 7–24. (In Russ.)

2. Алтухов А.И. (2023) Особенности обеспечения продовольственной безопасности России в условиях санкционного давления // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. № 4 (98). С. 5–17.

Altukhov A.I. (2023) Features of ensuring Russia's food security under the conditions of sanctions pressure. Economics, labor, management in agriculture, no. 4 (98), pp. 5–17. (In Russ.)

3. Ушачев И.Г., Папцов А.Г., Алтухов А.И. (2022) Развитие экспортной инфраструктуры продукции АПК. М.

Ushachev I.G., Paptsov A.G., Altukhov A.I. (2022) Development of the export infrastructure of agricultural products. Moscow. (In Russ.)

4. Иванов А.Л. (2019) Научно-технологическое развитие землепользования с использованием цифровых технологий в земледелии // Вестник РАН. № 5. С. 522–524.

Ivanov A.L. (2019) Scientific–Technological Development of Land Use on the Basis of Digital Technologies in Agriculture. Herald of the Russian Academy of Sciences, no. 2, pp. 199–200.

5. Белобров В.П., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р. и др. (2021) Структура почвенного покрова и технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник российской сельскохозяйственной науки. № 4. С. 53–57.

Belobrov V.P., Yudin S.A., Ermolaev N.R. et al. (2021) The structure of soil cover and technologies of cultivation of agricultural crops. *Bulletin of the Russian agricultural science*, no. 4, pp. 53–57. (In Russ.)

6. Дубенок Н.Н. (2023) Водно-энергосберегающие режимы на мелиорированных землях – основа повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного производства // *Известия Международной академии аграрного образования*. № 65. С. 35–40.

Dubenok N.N. (2023) Water-saving regimes on reclaimed lands are the basis for increasing the competitiveness of agricultural production. *Proceedings of the International Academy of Agricultural Education*, no. 65, pp. 35–40. (In Russ.)

7. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. и др. (2023) Инструмент для мониторинга экологического состояния и устойчивого развития сельскохозяйственного производства // *Техника и технологии в животноводстве*. № 1 (49). С. 78–84.

Bryukhanov A.Yu., Vasiliev E.V., Shalavina E.V. et al. (2023) A tool for monitoring the ecological state and sustainable development of agricultural production. *Machinery and technologies in animal husbandry*, no. 1 (49), pp. 78–84. (In Russ.)

8. Лоскутов И.Г., Супрун И.И., Цой М.Ф. и др. (2023) Перспективы развития национальной сетевой коллекции генетических ресурсов растений // *Генетические ресурсы растений для генетических технологий. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, проходящей в рамках Второго научного Форума "Генетические ресурсы России"*. Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. С. 193–194.

Loskutov I.G., Suprun I.I., Tsoi M.F. et al. (2023) Prospects for the development of the national network collection of plant genetic resources. *Plant genetic resources for genetic technologies. Abstracts of the All-Russian Scientific Conference, held within the framework of the Second Scientific Forum "Genetic Resources of Russia"*. Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov, pp. 193–194. (In Russ.)

9. Лукомец В.М., Трунова М.В., Демулин Я.Н. (2021) Современные тренды селекционно-генетического улучшения сортов и гибридов подсолнечника во ВНИИМК // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. № 4. С. 388–393.

Lukomets V.M., Trunova M.V., Demurin Ya.N. (2021) Modern trends in breeding and genetic improvement of sunflower varieties and hybrids in VNIIMK. *Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding*, no. 4, pp. 388–393. (In Russ.)

10. Зиновьева Н.А. (2022) Биоресурсные коллекции сельскохозяйственных животных: типы коллекций и области применения // *Генетические ресурсы России. Сборник тезисов пленарных докладов I Научного форума*. М. С. 16.

Zinovieva N.A. (2022) Bioresource collections of farm animals: types of collections and applications. *Genetic resources of Russia. Collection of abstracts of the plenary reports of the I Scientific Forum*. Moscow. P. 16. (In Russ.)

11. Морозов Н.М., Кирсанов В.В., Ценч Ю.С. (2023) Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. № 1. С. 11–18.

Morozov N.M., Kirsanov V.V., Tsench Yu.S. (2023) Historical and analytical assessment of the development of automation and robotization processes in dairy farming. *Agricultural machines and technologies*, no. 1, pp. 11–18. (In Russ.)

12. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. (2022) Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. № 4. С. 4–12.

Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. (2022) Principles of formation of machine systems and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural machines and technologies*, no. 4, pp. 4–12. (In Russ.)

13. Лачуга Ю.Ф., Стребков Д.С., Годжаев З.А., Редько И.Я. (2020) Электрификация сельскохозяйственных мобильных энергосредств на основе тягово-энергетической концепции развития техники // *Вестник РУДН. Серия "Инженерные исследования"*. № 4. С. 260–270.

Lachuga Yu.F., Strebkov D.S., Gojaev Z.A., Redko I.Ya. (2020) Electrification of agricultural mobile power facilities based on the traction and energy concept of technology development. *Bulletin of the RUDN. The series "Engineering Research"*, no. 4, pp. 260–270. (In Russ.)

14. Ценч Ю.С., Курбанов Р.К. (2023) История развития систем управления беспилотных воздушных судов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. № 3. С. 4–15.

Tsench Yu.S., Kurbanov R.K. (2023) The history of the development of unmanned aircraft control systems. *Agricultural machines and technologies*, no. 3, pp. 4–15. (In Russ.)

15. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. (2021) Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. № 4. С. 6–10.

Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. (2021) Digital technologies and robotic technical means for agriculture. *Agricultural machinery and technology*, no. 4, pp. 6–10. (In Russ.)

16. Petrov A.N., Galstyan A.G., Radaeva I.A. et al. (2017) Indicators of quality of canned milk: russian and international priorities. *Foods and Raw Materials*, no. 2, pp. 151–161.

17. Галстян А.Г., Аксёнова Л.М., Лисицын А.Б. и др. (2019) Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов // *Вестник РАН*. № 5. С. 539–542.

Galstyan A.G., Aksyonova L.M., Lisitsyn A.B. et al. (2019) Modern Approaches to Storage and Effective Processing of Agricultural Products for Obtaining High Quality Food Products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, no. 2, pp. 211–213.

18. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Никитина М.А. (2023) Формирование персонализированного рациона питания с использованием структурной оптимизации // *Пищевые системы*. № 1. С. 64–71.

Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Nikitina M.A. (2023) Formation of a personalized diet using structural optimization. *Food systems*, no. 1, pp. 64–71. (In Russ.)

19. Хлыстун В.Н. (2023) Состояние земельной политики России и направления её совершенствования // Имущественные отношения в Российской Федерации. № 8 (263). С. 38–48.

Khlystun V.N. (2023) The state of Russia's land policy and directions for its improvement. Property relations in the Russian Federation, no. 8 (263), pp. 38–48. (In Russ.)

20. Ценч Ю.С. (2023) Подготовка новой генерации молодых исследователей в научных учреждениях // Российская сельскохозяйственная наука. № 3. С. 3–8.

Tsench Yu.S. (2023) Training of a new generation of young researchers in scientific institutions. Russian Agricultural Science, no. 3, pp. 3–8. (In Russ.)

21. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Ценч Ю.С. (2015) Аспирантура в структуре научно-исследовательского института в новых условиях // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства. Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. ВНИИ механизации сельского хозяйства. С. 41–44.

Izmailov A. Yu., Lobachevsky Ya.P., Smirnov I.G., Tsench Yu.S. (2015) Postgraduate Studies in the Structure of the Research Institute in New Conditions. Intelligent machine technologies and equipment for the implementation of the State Program for the development of agriculture. Collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference. All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization, pp. 41–44. (In Russ.)

ДОКЛАД

АКАДЕМИКА РАН А.Д. КАПРИНА

«ОНКОЛОГИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРИКЛАДНЫХ МЕТОДАХ ЛЕЧЕНИЯ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ»

В 2023 г. в соответствии с распоряжением Президента Российской Федерации в онкологии прочно закрепился междисциплинарный подход для достижения средней продолжительности жизни в 78 лет. Поскольку этот показатель растёт, а также снижается смертность от рака, ключевыми вызовами на ближайшие годы станут старение населения и рост нагрузки на систему здравоохранения, значительная территориальная и гендерная дифференциация, интенсивные научные разработки и необходимость их внедрения в практическое здравоохранение по всей стране. В данном контексте на первый план выходят профилактика и раннее выявление онкологических заболеваний, в связи с чем особое внимание уделяется созданию современных систем диагностики рака в сотрудничестве с химиками, биоинформатиками, физиками и математиками. Речь идёт о привлечении технологий искусственного интеллекта в системы скрининга, развитии новейших подходов молекулярно-генетической диагностики, производстве отечественных радиофармацевтических препаратов для диагностики и лечения рака.

При лечении онкологических заболеваний всё чаще используется персонализированный подход. Наблюдается рост количества биотехнологических разработок в онкологии: CAR-T- и NK-клеточная терапия, мРНК-вакциноterapia, онколитическая терапия. Ведутся исследования в области редактирования генов и генной терапии. Отдельного внимания заслуживают биоинформатика и технологии машинного обучения, анализ больших "озёр данных" (Data Lake), создание платформы для поддержки принятия персонализированных врачебных решений и нейросетевого алгоритма на основе искусственного интеллекта.

Среди перспективных направлений в ядерной медицине – разработка и внедрение новейших *радиофармацевтических препаратов* (РФЛП) для диагностики и лечения рака. Важно отметить, что применение технологий ядерной медицины в комбинированном лечении (совместно с химиотерапией, хирургией, лучевой терапией) даёт значительные преимущества в лечении даже запущенных форм злокачественных новообразований. В результате последовательной законодательской деятельности и при поддержке Министерства здравоохране-

ния Российской Федерации под эгидой Национального медицинского исследовательского центра радиологии Минздрава России (НМИЦ радиологии Минздрава России) создана первая аптека РФЛП, а также принят план развития сети ядерных аптек по всей стране.

Приведём перечень перспективных радиофармацевтических лекарственных препаратов, работа над которыми ведётся на базе ядерных аптек:

- РФЛП ^{64}Cu -DOTATATE для ПЭТ/КТ¹ пациентов с нейроэндокринными злокачественными новообразованиями;
- ^{68}Ga -NOTA (^{68}Ga -NGUL) вместо ^{68}Ga -PSMA-11, который был утверждён Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) в 2020 г. для радионуклидной диагностики метастатического кастрационно-резистентного рака предстательной железы (мКРППЖ);
- $^{99\text{mTc}}$ -PSMA I&S для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии пациентов с мКРППЖ;
- РФЛП с радионуклидом ^{89}Zr при ПЭТ в радиоиммунодиагностике (^{89}Zr -DFO-NCS-трастузумаб);
- рецепторно-направленные радиоактивно меченые пептиды для визуализации и лечения меланомы (^{177}Lu / ^{68}Ga -DOTA-PEG4-LLP2A);
- ^{211}At -трастузумаб для лечения вторичных метастазов от рака желудка в печени;
- пептид-рецепторная радионуклидная терапия на основе соматостатиновых рецепторов (ПРПТ) при лечении рефрактерной менингиомы;
- ^{214}Pb -TCMC-трастузумаб в доклинической модели лечения HER2-положительного рака яичников;
- таргетная терапия множественной миеломы альфа- и бета-меченым вектором, имеющим средство к CD38 (^{177}Lu -DOTA-Dara и ^{225}Ac -DOTA-Dara);
- TAG-72 – таргетная α -радионуклидная диагностика и терапия рака яичников с использованием антитела, меченного ^{64}Cu или ^{225}Ac (^{64}Cu -DOTAylated-huCC49 и ^{225}Ac -DOTAylated-huCC49);
- ^{67}Cu -CuSar-bisPSMA для терапии КРППЖ.

Клиническим прорывом в лечении гормонорезистентного рака предстательной железы стал синтез РФЛП ^{177}Lu -ДОТА-PSMA. Доклинические исследования доказали его безопасность и эффективность. Препарат образует устойчивое соединение в теле пациента, обладает высокой тропностью к опухолевой ткани и хорошими клинико-дозиметрическими показателями. Его изготавливают в аптеке РФЛП на базе НМИЦ радиологии Минздрава России.

К настоящему времени разработаны РФЛП на основе рениевой платформы (Гепаторен-МРНЦ и Артроден-МРНЦ) для лечения первичной гепатоцеллюляр-

¹ ПЭТ/КТ (PET/CT) – эффективный метод диагностики онкологических заболеваний, сочетающий возможности позитронно-эмиссионной (ПЭТ) и компьютерной (КТ) томографии и позволяющий с большой вероятностью установить наличие злокачественного образования.

ной карциномы и метастатического поражения печени, а также экссудативных синовитов. Эти препараты позволили совершить качественный прорыв в терапии, дали шанс перевести неоперабельные процессы в печени в операбельные.

В Российском научном центре радиологии и хирургических технологий им. академика А.М. Гранова в Санкт-Петербурге создан инновационный меченый лютецием-177 радиофармпрепарат Нанолют на основе *биспецифического наноантитела* к поверхностным рецепторам T-регуляторных клеток против широкого спектра генерализованных форм опухолей (меланома, рак лёгкого, почки, мочевого пузыря). Препарат показал эффективность в клинических испытаниях.

Институты Томского национального исследовательского медицинского центра РАН на протяжении 30 лет плодотворно сотрудничают с Национальным исследовательским Томским политехническим университетом в области получения радиофармацевтических лекарственных препаратов для ядерной медицины. Об успехе совместной работы свидетельствуют регистрация и организация производства генераторов технеция, а также ряда радиофармацевтических лекарственных препаратов для диагностики и лечения злокачественных новообразований. Несколько оригинальных тераностических соединений находятся на стадии доклинических и клинических испытаний.

Имеющиеся источники различной мощности дозы излучения (I-125, Ir-192, Co-60, Ra-224) позволяют с помощью брахитерапии (введение источника внутрь поражённого органа) успешно лечить злокачественные новообразования разной локализации, в том числе таких сложных, как опухоли поджелудочной или молочной желёз. При аппликационной *брахитерапии* меланом и ретинобластом применяются офтальмоаппликаторы с произведёнными в России рутением-106 и стронцием-90. Метод показал высокую эффективность: позволяет сохранить глаз пациента, в 70% случаев сохранить зрение, пятилетняя выживаемость достигает 90%.

Что касается отечественных разработок в области *лучевой терапии*, то с 2016 года в Медицинском радиологическом научном центре им. А.Ф. Цыба – филиале НМИЦ радиологии Минздрава России функционирует протонный терапевтический комплекс "Прометеус" – первая и пока единственная российская установка, размещённая в медицинском учреждении, что естественным образом способствует повышению доступности для пациентов онкологической помощи методами протонной терапии.

Развитие технологий лучевой терапии с применением ионов – системообразующая задача в современной клинической радиологии. Предполагается, что экспериментально-клинический комплекс на основе синхротрона У-70 в НИЦ "Курчатовский институт" Протвино с периметром орбиты 1.5 км станет ключом к внедрению ионной лучевой терапии в России. В настоящее время реализуется проект первого в мире комплекса нейтронной терапии на базе компактного нейтронного генератора НГ-24 в НМИЦ радиологии Минздрава России. В результате будет создана медицинская установка нейтронной терапии, которая подарит надежду на выздоровление пациентам с резистентными и рецидивными опухолями различных локализаций.

В области препаратов онкологического профиля сложилось несколько ключевых тенденций, которые будут развиваться в ближайшие годы:

- клеточная терапия;
- РНК- и ДНК-вакцины;
- технологии редактирования генов и генная терапия;
- онколитическая вирусная терапия;
- би- и триспецифические антитела.

В Национальном медицинском исследовательском центре гематологии Минздрава России создан первый отечественный анти-CD19 CAR-T-клеточный лекарственный препарат для терапии острого В-лимфобластного лейкоза. В Российском научном центре рентгенорадиологии Минздрава России налаживается технология получения CAR-T-продуктов, которые отличаются более коротким сроком производства и более низкой стоимостью по сравнению с зарубежными аналогами. В Научно-технологическом университете "Сириус" отработаны методы *in vitro* синтеза, выделения и очистки мРНК, эксперименты продемонстрировали высокую эффективность её доставки. В Национальном исследовательском центре эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи Минздрава России создана универсальная мРНК-платформа, уже зарекомендовавшая себя в экспериментах с различными вирусами.

Ещё одно направление – доклинические исследования лекарственных средств на основе непатогенных штаммов энтеровирусов, обладающих выраженным онколитическим потенциалом (Центр высокоточного редактирования и генетических технологий для биомедицины). Новые технологии позволяют получать биспецифические антитела, способные нацеливаться сразу на два антигена. Этой области уделяется повышенное внимание во всём мире. В России на разных этапах разработки находятся несколько биспецифических антител (компания BIOCAD), которые предполагается использовать как в лечении онкогематологических заболеваний, так и солидных опухолей.

Сотрудники Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н.Н. Петрова Минздрава России активно трудятся над аутологичной дендритно-клеточной вакциной на основе раково-тестикулярных антигенов. Уже готов прототип клеточного продукта, который содержит аутологичные дендритные клетки, активированные раково-тестикулярными антигенами. Собственная научно-исследовательская инфраструктура НМИЦ радиологии Минздрава России, созданная благодаря массиву аннотированных геномных и метаданных, а также технологии машинного обучения способствовали появлению новой отечественной фармакогеномной *системы поддержки принятия врачебных решений*. Биоинформатическая система проходит успешную апробацию на клинической базе НМИЦ радиологии Минздрава России. Коллектив Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Минздрава России разработал прототип нейросетевого алгоритма на основе искусственного интеллекта с целью повышения точности диагностики рака шейки матки.

Молекулярно-генетическими технологиями на основе микроРНК² занимаются крупные российские центры и консорциумы. В НМИЦ онкологии Минздрава России (Ростов-на-Дону) с помощью биоинформатических и молекулярно-генетических подходов продолжается работа над малоинвазивной диагностической панелью опухолей головного мозга на базе микроРНК, циркулирующих в плазме крови. Научным консорциумом под руководством академика РАН Е.Л. Чойзенова получен генотерапевтический микроРНК-препарат, таргетированный к генам стволовости, которые инкапсулированы в липосомы. Он показал высокую противометастатическую активность на модели спонтанного метастазирования у мышей и образования опухолевых узлов у ксенографтов³. Препарат в настоящее время проходит доклинические токсикологические исследования. На базе НМИЦ онкологии Минздрава России с использованием биоинформатических и молекулярно-генетических подходов в изучении внутриопухолевой гетерогенности ведётся поиск путей гомологичной рекомбинации ДНК, разрабатывается молекулярная прогностическая классификация рака желудка. Синтезирован 17-членный мишеный пептид, способный специфически связываться с белком теплового шока на поверхности плазматической мембраны опухолевых клеток. Пептид может преодолевать гематоэнцефалический барьер, накапливаясь в клетках глиобластомы. Это позволяет перейти к исследованиям *in vivo* на релевантных моделях внутричерепных опухолей.

Научные коллективы Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии РАН показали, что донор оксида азота обладает уникальной противоглиомной активностью на культурах клеток глиом: он в 1000 раз более цитотоксичен для клеток глиом, чем для неопухолевых клеток, а соединение более активно, чем Темодал (цитотоксичность выше в 10–2500 раз в зависимости глиомы).

Новые возможности онкохирургии – огромный научный пласт, в котором достижения смежных с онкологией дисциплин постоянно внедряются в практику биотехнологов, химиков и других специалистов. Так, учёные из Томского национального исследовательского медицинского центра РАН разработали методику получения оригинальных отечественных индивидуальных имплантатов из фторполимеров с целью устранения дефектов челюстно-лицевой области.

Московский клинический научный центр им А.С. Логинова – ведущий центр по замещению хирургических методов лечения неинвазивными. Здесь сокращаются объёмы операций при ранних формах рака, внедряются малоинвазивные технологии. Успешное применение лекарственных технологий позволяет в последующем осуществлять хирургическое лечение.

² МикроРНК (miRNA) – класс малых некодирующих молекул РНК длиной 18–25 нуклеотидов, обнаруженных у животных, растений и некоторых вирусов и принимающих участие в транскрипционной и посттранскрипционной регуляции экспрессии генов.

³ Ксенографты – экспериментальные онкологические модели, использующие привитые мышам опухоли человека.

ДОКЛАД
АКАДЕМИКА РАН В.Г. АКИМКИНА,
АКАДЕМИКА РАН В.В. ЗВЕРЕВА,
АКАДЕМИКА РАН М.П. КИРПИЧНИКОВА,
АКАДЕМИКА РАН Е.Д. СВЕРДЛОВА,
АКАДЕМИКА РАН В.И. СТАРОДУБОВА,
АКАДЕМИКА РАН Н.К. ЯНКОВСКОГО
«ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ, КЛЕТОЧНЫЕ,
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ БИОБЕЗОПАСНОСТИ»

XXI век ознаменовал собой эпоху глобальных перемен, однако, несмотря на все научные и практические достижения, проблемы инфекционной патологии до сих пор не утрачивают своей актуальности. По данным ВОЗ, инфекционные болезни занимают третье место в структуре общей смертности в мире [1]. До пандемии COVID-19 в России ежегодно регистрировалось 32-37 млн случаев инфицирования, в 2021-2022 гг. – более 50 млн. В 2022 году прямой и косвенный ущерб составил более 1,6 трлн руб. В целом в период пандемии в мире зарегистрировано более 770 млн случаев заражения и 7 млн смертей, в России – более 23 млн и 400 тыс. соответственно [2]. Сохраняется неблагоприятная международная эпидемиологическая ситуация по ряду болезней, в том числе с чрезвычайно высоким риском распространения и тяжёлыми последствиями для общественного здравоохранения.

Наряду с ростом заболеваемости серьёзную угрозу национальной биологической безопасности представляют эпидемические и эпизоотические вспышки новых и вновь возникающих инфекций, таких как лихорадка Эбола, Денге и Зика, тяжёлый острый респираторный синдром (SARS), ближневосточный респираторный синдром (MERS) и др. Большинство из них характеризуются внезапностью, высокой смертностью, отсутствием специфических методов диагностики и лечения, а также значительным уровнем затрат на проведение противоэпидемических мероприятий. В настоящее время проблема биобезопасности чрезвычайно актуальна для всех стран в связи с расширением спектра реальных и потенциальных угроз для здоровья и благополучия человека, общества и окружающей среды со стороны опасных агентов биологической природы [3–6].

Пандемия новой коронавирусной инфекции наглядно продемонстрировала миру его уязвимость. Очевидно, что своевременная и точная диагностика – важнейшее условие эпидемиологического благополучия населения. С учётом этого в целях реализации «Концепции технологического развития Российской Федерации

до 2030 года» (распоряжение Правительства Российской Федерации № 1315-р от 20.05.2023 г.) нужно наладить систему биобезопасности, основанную на быстром внедрении инноваций в медицинские, биотехнологические, химические и информационные области, которые играют главную роль в обеспечении технологического и экономического суверенитета России.

Стремительное развитие ряда смежных с эпидемиологией фундаментальных наук (в первую очередь иммунологии, вирусологии и генетики) привело, с одной стороны, к расширению представлений о биологии возбудителей и факторах их патогенного воздействия, с другой – к пониманию механизмов резистентности потенциального хозяина. Таким образом, пришло осознание, что взаимодействие возбудителей инфекционных заболеваний и вовлекаемых в эпидемический процесс людей и животных в действительности значительно более сложное, нежели это представлялось ранее.

Анализ показал, что основные эпидемические проявления COVID-19 соответствуют положениям теории саморегуляции паразитарных систем В.Д. Белякова и обусловлены наличием фазовой внутренней перестройки популяции SARS-CoV-2 на фоне лабильных социальных и природных условий [7]. Подтверждением ключевого положения теории о фазности развития эпидемического процесса служит динамика заболеваемости COVID-19. Первые случаи в России зафиксированы в феврале-марте 2020 года и ознаменовали начало предэпидемического периода, когда присутствовали лишь единичные инфицированные лица, численность возбудителя была невелика, а её гетерогенность имела минимальную выраженность за счёт абсолютного преобладания в ней маловирулентных особей. Начиная с мая 2020 года, вследствие пассажа через восприимчивых людей, началось повышение вирулентности и численности популяции нового коронавируса, которые предшествовали росту заболеваемости среди населения, то есть процесс перешёл в фазу эпидемического преобразования, а затем – эпидемического распространения. Всё это сопровождалось более тяжёлыми случаями болезни и высокой летальностью. Первый этап развития пандемии на территории России (март 2020 - январь 2021 г.) обусловлен неоднородностью (гетерогенностью) взаимодействующих популяций возбудителя и человека, а также введением мер неспецифической профилактики и ограничительных противоэпидемических мероприятий. В этот период были отмечены два подъёма и два спада заболеваемости, регулируемые социальными и природными факторами [3].

Второй этап пандемии COVID-19 (с января 2021 года по настоящее время) обусловлен изменением биологических свойств вируса SARS-CoV-2 с последующей сменой превалирующих геновариантов (альфа-, бета-, гамма-, дельта- и омикрон) и стартом массовой специфической иммунопрофилактики [8]. Уже зафиксировано пять подъёмов и спадов заболеваемости, что, вероятно, связано с эволюцией вируса и становлением его эпидемического варианта при закономерном изменении иммунологической структуры популяции человека в цепи циркуляции возбудителя. Фазовая самоперестройка вируса привела к снижению его вирулентности и численности, что сопровождалось уменьшением тяжести протекания болезни, числа госпитализированных и умерших, и может свидетельствовать о наступлении фазы резервационного преобразования.

Грядущая фаза резервации коронавируса угрожает ему исчезновением, поэтому сохранение возбудителя как биологического вида невозможно без эволюционного развития. Этому способствуют нестабильность генома и мутации, а также расширение диапазона гетерогенности популяции SARS-CoV-2 за счёт циркуляции мало- и высоковирулентных вариантов с последующим стабилизирующим отбором и преобладанием эпидемического характера возбудителя. Поэтому резервация всегда балансирует на грани с фазой эпидемического преобразования, когда в естественном отборе появляются и получают преимущество новые штаммы, которые могут обходить ранее сформированную человечеством защиту, ускользая от вакцин и постинфекционного иммунитета [7].

Неизбежность будущих пандемий обуславливает потребность в технологиях снижения их негативного воздействия на население путём разработки специфических вакцин и организации их массового производства. Наряду с исследованиями, нацеленными на совершенствование традиционных вакцин (РНК- и ДНК-вакцины, клеточные вакцины), которые основаны на индукции адаптивного иммунитета, перспективным представляется создание универсальных вакцин, механизм действия которых использует неспецифический врождённый иммунитет. При появлении неидентифицированного патогена они позволили бы защищать население и снижать тяжесть заболевания до момента выпуска специфических к данному возбудителю вакцин.

Врождённый иммунитет служит первой линией защиты от патогенов (рис. 1), а затем присоединяется основная, адаптивная ветвь иммунной системы. Врождённый иммунитет включает в себя несколько уровней защиты, один из которых – клеточный компонент – представляет собой быстрый (от минут до часов и дней) иммунный ответ хозяина, характеризующийся неспецифическим распознаванием различных высококонсервативных микробных молекулярных структур клеточными рецепторами распознавания образов иммунных (моноциты/макрофаги и дендритные клетки [9–12]) и неиммунных клеток (эпителий). Напротив, адаптивный



Рис. 1. Характеристика врождённого и приобретённого иммунитета на примере реакции на БЦЖ

иммунитет отличается высокой специфичностью к определённым микробным инфекциям, и требуется от нескольких дней до двух недель для эффективного гуморального и клеточного ответа. Он распознаёт и атакует патогены по специфическим антигенам, формирует иммунологическую память, что позволяет в следующий раз быстрее инициировать иммунный ответ на данный антиген.

Имеются убедительные доказательства того, что живые бактериальные или вирусные вакцины (БЦЖ, вакцины против кори и полиомиелита) оказывают гетерологичное защитное действие против неродственных патогенов. Это связано со способностью врождённого иммунитета хранить память о прошлых инфекциях и использовать её для выработки иммунной защиты против новых. Данный эффект получил название «обученного» или «тренированного» иммунитета, характеризующегося усилением врождённых иммунных ответов после первоначального контакта с патогенами на последующие воздействия и представляющего собой форму врождённой иммунологической памяти [13].

Индукция тренированного иммунитета была продемонстрирована в таких миелоидных клетках, как моноциты, макрофаги, дендритные клетки и нейтрофилы, а также в лимфоидных клетках – естественных клетках-киллерах и врождённых лимфоидных клетках. Для объяснения долговременной защиты, вызванной таким иммунитетом, рассматриваются два механизма: перепрограммирование клеток-предшественников костного мозга (центральный тренированный иммунитет) и функциональные изменения популяций тканевых клеток (периферический иммунитет) [14].

Показано, что живые аттенуированные вакцины (БЦЖ, вакцины против кори, пероральная вакцина против полиомиелита) снижают смертность не только от перечисленных заболеваний, но и от других, гетерологичных, инфекций, что может быть связано с неспецифическим врождённым иммунитетом. Этот эффект наблюдался в странах с низким доходом [15–17], хотя исследования, проведённые в более обеспеченных странах, дали противоречивые результаты. Тем не менее вакцинация БЦЖ была предложена для защиты от *Staphylococcus aureus* – инфекции, возникающей при хирургических вмешательствах, а также *Leishmania*. Таким образом, можно рассчитывать на то, что уже известные вакцины против различных патогенов могут оказаться полезными против новых, включая COVID-19 [18–20].

Взаимодействие врождённой и адаптивной иммунных систем играет главную роль в защитных реакциях организма. Миелоидные клетки врождённой иммунной системы способны воспринимать микробные лиганды, нарушения клеточного гомеостаза и факторы вирулентности, передавая специфическую информацию наивным Т-клеткам в форме продуктов патогенного происхождения и цитокинов.

Функциональные изменения, связанные с индукцией тренированного иммунитета, сохраняются не менее года, хотя эпидемиологические исследования показали и более долгосрочные воздействия (до 5 лет) в случае неспецифической защиты вследствие вакцинации [14, 21–23]. Вакцины, основанные на тренировке иммунитета, могли бы служить мощными иммунными стимуляторами, содействовать уничтожению возбудителей в организме за счёт гетерологичных эффектов и обеспечивать защиту от специфических и неспецифических патогенов [19, 20, 24] (рис. 2).



Рис. 2. Схема создания рекомбинантных вакцин, нацеленных на клетки врождённого иммунитета

Современный уровень иммунологии и молекулярной биологии позволяет получать рекомбинантные вакцины, в частности БЦЖ [25, 26], модифицированные генами, продукты которых способствуют лучшей активации клеток врождённого иммунитета. Рекомбинантные варианты, экспрессирующие различные антигены, могут оказаться полезными как для введения антигенов SARS-CoV-2 (rBCG-SARS-CoV-2) для индукции длительного иммунитета [27], так и для предварительной профилактики против неизвестного патогена до создания конкретной вакцины. С помощью явления тренированного иммунитета можно найти подход к улучшению существующих или разработке новых вакцин, сочетающих индукцию классической адаптивной и врождённой иммунной памяти. Эти методы могут быть усилены с помощью генетических технологий. Соответствующие работы ведутся в России и за рубежом [28–30]. Генетика и эпигенетика биобезопасности должны быть выделены в новое междисциплинарное направление фундаментальных наук и ориентироваться на решение задач, критически важных не только для обеспечения национальной безопасности, но и в целом для достижения независимости и конкурентоспособности технологических разработок в гражданском и оборонном секторах экономики.

В настоящее время наряду с выявлением ДНК возбудителя ведётся поиск методов оценки изменения активности генов человека в ответ на вирусную инфекцию. Генный ответ организма-хозяина включает специфичные и неспецифичные

изменения активности генов для конкретного вида возбудителя, указывающие на инфицирование, что позволяет установить заражение в том числе и не изученными ранее агентами. Изменение активности генов может быть обнаружено по смене профиля метилирования избранных участков ДНК, а именно, CpG-сайтов в регуляторных участках генов. В геноме человека почти 20 тыс. генов, их набор во всех клетках одинаков, однако сами клетки различаются, так как в каждой работает свой набор генов, в то время как остальные "молчат".

Как и прочие вирусы, SARS-Cov-2 меняет активность генов человека, чтобы гарантировать своё размножение. Одновременно клетка отвечает на инфицирование, активируя соответствующие гены защиты [31–33]. Развитие вирусной инфекции начинается с процесса модификации генома человека (немутационное и ненаследуемое изменение ДНК) после попадания вируса в клетку. Модификация заключается в присоединении метильной группы (метилирование), либо её удалении (деметилирование) из динуклеотидов CpG в молекуле ДНК генома человека. В результате специфической смены профиля метилирования ДНК меняется и профиль активности генов, продукты которых нужны для образования частиц вирусного потомства. При выздоровлении профили метилирования и активности генов хозяина возвращаются к норме.

По анализу профиля модификации ДНК в клетках крови можно диагностировать любое заболевание, установить тип возбудителя и его вариант, вероятный исход болезни как природного, так и лабораторного происхождения. Для этого нужно определить и сравнить направление и уровень метилирования каждого гена у здоровых и инфицированных индивидов. Профиль метилирования специфичен для вируса одного вида (например, SARS-Cov-2) у разных заражённых, но отличается от профиля другого вируса (например, вируса гриппа). Таким образом, это открыло новый способ диагностики конкретного возбудителя по регистрируемому профилю изменений в геноме заражённого им человека. Положение сайтов CpG в геноме, уровень метилирования которых меняется после возникновения инфекции, можно определить с помощью разработанной в России технологии анализа метилирования на оригинальной ферментной базе (фермент *GlaI*). Рестриктаза *GlaI* расщепляет только те участки ДНК, которые содержат метилированный цитозин в составе нуклеотидной последовательности RCGY (пурин-динуклеотид CpG – пиримидин). Поскольку рестриктаза *GlaI* произведена в России, у нас сохраняются все интеллектуальные права на неё [34–36]. Схема метода полногеномного анализа метилирования генома человека представлена на рисунке 3.

Сравнение профилей метилирования ДНК в геноме человека до и после инфекции выявляет каждый дифференциально метилированный цитозин и его координаты путём маркировки прилежащих генов с возможно изменённым уровнем активности в данной хромосоме-гомологе, которые могут оказаться жизненно важными для вируса. Транскрипты таких генов представляют собой потенциальные терапевтические мишени, разрушение которых блокирует образование дочерних вирусных частиц и тормозит развитие инфекции, что даёт время иммунной системе наработать специфические антитела и обеспечить облегчённое течение заболевания или более быстрое выздоровление.

Отличие эпигеномного секвенирования от геномного

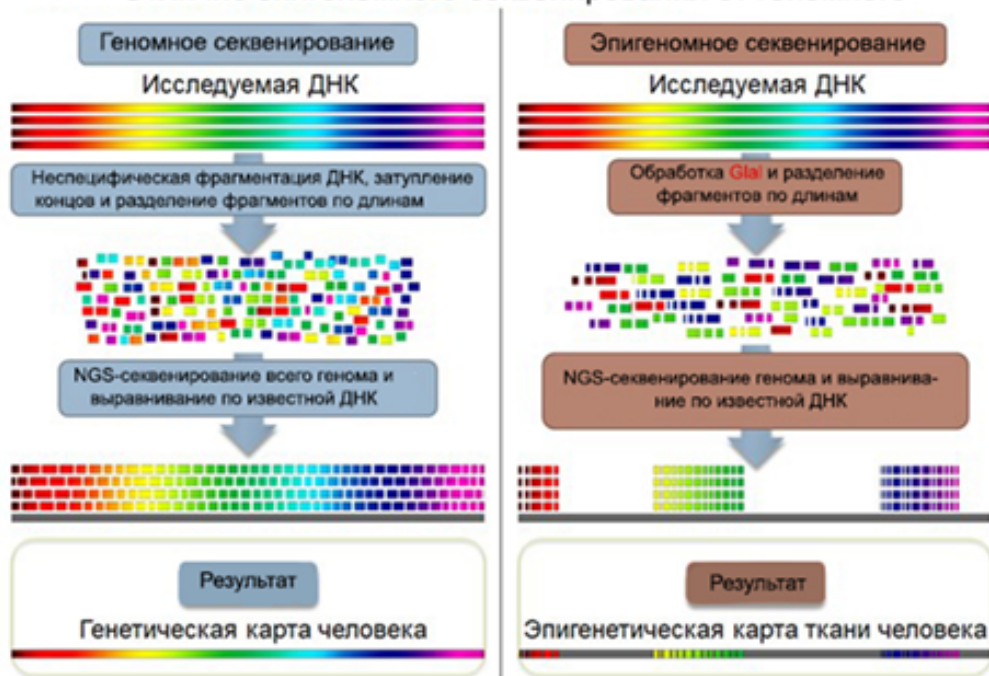


Рис. 3. Отличия эпигеномного секвенирования от геномного (разработка С.Х. Дегтярёва)

Изменение состава набора мРНК в клетках человека (редактирование транскриптома) позволит разработать новые средства терапии и профилактики инфекционных заболеваний. Для этого в транскриптоме необходимо найти именно ту часть транскриптов-мишеней, которая необходима вирусу для его развития, формирования дочерних частиц и их передачи следующему хозяину, при этом избежать поражения тех молекул мРНК, которые активированы организмом для самозащиты и последующего выздоровления.

Диагностика и прогноз течения инфекционного заболевания включают анализ метилирования ДНК, установление различий между здоровыми и больными, выбор мишеней для терапии и профилактики:

- идентификация генов человека, активность которых необходима вирусу, но не самому человеку, и генов, обеспечивающих защиту;
- разрушение мРНК-мишеней (транскриптов генов человека) за счёт РНК-интерференции текст-специфическими синтетическими молекулами РНК.

Показано, что при поражении вирусом гриппа одновременное подавление в инфицированной клетке экспрессии двух и более генов (*FLT4*, *Nup98* и *Nup205*) значительно снижает число образованных в ней дочерних вирусных частиц [37].

Один из основных инструментов борьбы с инфекционными болезнями – точная и своевременная диагностика. Современные технологии диагностики включают: поиск нуклеиновых кислот возбудителя с помощью различных методов их амплификации (полимеразная цепная реакция (ПЦР) или изотермическая амплификация); выявление антигенов или антител к возбудителю с помощью

серологической диагностики путём иммуноферментного или иммунохроматографического анализа; технологии с использованием биочипов; различные методы секвенирования, в том числе секвенирование нового поколения (NGS); технологии редактирования генома – современное направление в производстве диагностических наборов.

Важным результатом борьбы с пандемией стало создание новой платформы для молекулярной диагностики с помощью одного из методов изотермической амплификации – петлевой изотермической амплификации LAMP (ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора) [38]. В данном подходе 4–6 праймеров обеспечивают высокую специфичность системы и лавинообразное накопление продуктов реакции. Полимераза с вытесняющей активностью допускает проведение реакции при одинаковой температуре. Время анализа при этом составляет всего 25–30 мин.

Секвенирование нового поколения – безусловно одна из прорывных технологий идентификации патогенов. Активное развитие подходов и технологий NGS-секвенирования привело к кардинальному снижению стоимости прочтения геномов, повышению производительности платформ и уменьшению числа ошибок. Сфера применения данной технологии в биологии и медицине включает диагностику наследственных и онкологических заболеваний, генетические исследования, поиск возбудителей инфекционных заболеваний, генотипирование бактериальных и вирусных патогенов, наблюдения за их изменчивостью, кроме того, она внедрена в криминалистику и множество других областей.

При изучении патогенов вирусной природы секвенирование нового поколения позволяет выявлять этиологический фактор заболевания, проводить мониторинг изменчивости патогена, обнаруживать филогенетические связи, устанавливать пути передачи возбудителя, проводить расследование причин вспышек заболеваемости. Основное его преимущество – возможность обнаружения и идентификации неизвестных ранее патогенов. В технологии NGS для работы с полными геномами вирусных патогенов используют два основных подхода: метагеномный – универсальный метод исследования тотальных ДНК/РНК, выделенных из биологического материала, с целью детектирования неизвестных патогенов и изучение уже известных с помощью обогащения образцов путём амплификации целевых нуклеиновых кислот с набором специфических праймеров. Это повышает чувствительность системы и одновременно существенно снижает стоимость проведения опытов [39, 40].

В ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора разработана собственная панель для амплификации генома коронавируса SARS-CoV-2. Модифицированные праймеры позволяют создавать полногеномные библиотеки для секвенирования в два этапа ПЦР, минуя дорогостоящие и трудоёмкие стадии. Панель обеспечивает оптимальный охват и качество данных NGS на платформах Illumina™, что обуславливает невысокую себестоимость секвенирования полного генома. В случае с COVID-19 молекулярно-генетический мониторинг изменчивости генома вируса стал важным направлением эпидемиологических исследований, так как это помогло установить связи между циркулирующими геновариантами вируса и особенностями проявления эпидемического процесса. В рамках исполнения постановлений Прави-

тельства Российской Федерации (№ 448 от 23.03.2021 г., № 2178 от 02.12.2021 г., № 2395 от 23.12.2022 г.) специалисты Роспотребнадзора развернули масштабные работы по секвенированию и биоинформатическому анализу геномов коронавируса SARS-CoV-2 и выявлению как известных, так и новых его вариантов.

В 2021 г. на базе ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 23.03.2021 г. № 448 «Об утверждении Временного порядка предоставления данных расшифровки генома возбудителя новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» была создана национальная платформа VGARus (Virus Genome Aggregator of Russia, свидетельство о государственной регистрации № 2021621178 от 02.06.2021 г.) с целью агрегирования и анализа данных о геномах вирусов SARS CoV 2, обнаруженных в России. Платформа позволяет осуществлять централизованный сбор и анализ данных о структуре и динамике установленных вариантов вируса и, соответственно, оперативно оценивать эпидемическую ситуацию в стране и принимать эффективные меры по её контролю (genome.crie.ru) [8, 41–44].

В настоящее время продолжается депонирование данных секвенирования на платформе, включая соответствующие метаданные, активно расширяется спектр анализируемых геномов возбудителей других инфекционных болезней. К платформе подключены более 150 организаций, 60 секвенирующих лабораторий. В проекте участвуют Россия, Республика Беларусь и Республика Армения. Передача информации осуществляется по защищённым каналам связи. Всего загружено 318 388 геномных последовательностей (195 944 – полные), в том числе SARS-CoV-2 – 299 404 (194 242 – полные).

В апреле 2021 года Президент Российской Федерации В.В. Путин в своём послании к Федеральному собранию обозначил основные направления в построении современной системы управления санитарными и биологическими рисками в стране. Один из ключевых тезисов – формирование мощного и надёжного щита в области санитарной и биологической безопасности с максимально возможным использованием отечественных компонентов и оборудования. Особо отмечена потребность в технологиях, которые позволят производить тест-системы для выявления патогенов за четыре дня. Срок исполнения поручения – 2030 г. Для быстрой разработки тест-систем необходимо прежде всего развивать научный и производственный потенциал следующих ключевых компонентов наборов для ПЦР: ферменты, олигонуклеотиды, контрольные образцы и наборы для выделения и очистки ДНК/РНК из различных биоматериалов. Следует отметить, что эти компоненты входят в состав всех наборов реагентов, основанных на методах амплификации нуклеиновых кислот (МАНК).

Стратегию создания тест-систем на основе МАНК, в том числе за четыре дня, можно разбить на несколько этапов. Для начала необходимы сведения о геноме возбудителя. Это может быть как информация из базы данных геномов, например, платформы VGARus, так и геномная последовательность, полученная различными методами секвенирования. Далее следует моделирование олигонуклеотидных последовательностей (праймеров и флуоресцентных зондов) для будущего набора. Затем осуществляется подбор оптимального эффективного метода выделения и очистки ДНК/РНК и ферментов с целью создания высо-

кочувствительного теста. На завершающем этапе после сбора всех необходимых компонентов проводится тестирование набора на клинических образцах и определяются его аналитические характеристики.

Олигонуклеотиды (праймеры и флуоресцентные зонды) – одни из ключевых компонентов любого ПЦР-набора. Пандемия коронавирусной инфекции показала, что препятствием для быстрого масштабного выпуска тестов в формате ПЦР и изотермической амплификации служит недостаточно быстрая разработка и синтез олигонуклеотидов. Причём проблемы возникали как с синтезом в малых количествах, так и в больших объёмах для промышленного выпуска наборов. Кроме того, олигонуклеотиды используются при секвенировании нуклеиновых кислот, сборке генов, клонировании в качестве аптамеров и т.д. Поскольку ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора обладает ресурсами для олигосинтеза, ферментами собственного производства, а также возможностями для выпуска целого ряда наборов для выделения и очистки нуклеиновых кислот, под его эгидой можно за минимальный срок создать полноценную платформу для внедрения в производство ПЦР-наборов и протоколов для секвенирования.

В настоящее время при производстве наборов реагентов для молекулярной биологии активно используются самые разнообразные ферменты: ДНК-зависимые ДНК-полимеразы (полимераза Taq, полимеразы для горячего старта TaqF, полимеразы Bst); ДНК-зависимая РНК-полимераза бактериофага T7; РНК-зависимые ДНК-полимеразы или обратные транскриптазы/ревертазы (ревертаза MMLV, ревертаза AMV); рибонуклеаза H, урацил-ДНК-гликозилаза (УДГ), протеиназа K. Отметим, что институт ведёт работу по увеличению эффективности ферментов, повышению их устойчивости к всевозможным ингибиторам, получению новых ферментов для быстро развивающихся методов амплификации нуклеиновых кислот [45, 46].

Ферменты ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора не уступают по своим свойствам зарубежным аналогам, соответствуют критериям качества продукции, обеспечивают необходимый уровень каталитической активности, обладают устойчивостью к основным ингибиторам. Они служат основой наборов реагентов для выделения нуклеиновых кислот и широкого спектра тест-систем для диагностики заболеваний человека и животных как в формате ПЦР в режиме реального времени, так и LAMP и NASBA. Помимо самих ферментов, производятся соответствующие буферные растворы, формирующие оптимальные условия для их работы. Благодаря собственному производству стоимость ферментов практически в 50 раз ниже зарубежных.

Наборы реагентов для диагностики *in vitro* надёжны, не уступают зарубежным аналогам и остаются экономически выгодными для потребителей. Более 3 тыс. клиничко-диагностических лабораторий, медицинских центров и государственных учреждений используют результаты научных разработок института в своей повседневной работе. В ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора уже зарегистрировано/задекларировано более 200 наборов реагентов, обеспечивающих диагностику свыше 120 инфекционных болезней человека, а также более 40 ветеринарных тест-систем. Ежегодный выпуск продукции достигает 1 млн единиц. В период пандемии COVID-19 объём производства был увеличен в 6 раз, а по отдельным наборам реагентов – в 40 раз! Поставка продукции осуществляется более чем в 40 стран.

Редактирование генома за короткое время лидирует среди технологий модификации генома и широко применяется в различных областях биотехнологии. Системы направленного редактирования генома CRISPR/Cas могут быть адаптированы для терапии таких социально значимых инфекций, как ВИЧ, наследственных и приобретённых заболеваний, в частности, рака, аутоиммунных и орфанных (редких) заболеваний. Кроме того, применение белков CRISPR/Cas поможет решить задачу своевременной диагностики.

Внедрены технологии получения белков направленного редактирования генома CRISPR/Cas. Более того, разработан и оптимизирован протокол лиофилизации белков CRISPR/Cas, позволяющий изготавливать активные препараты, пригодные для транспортировки и хранения при комнатной температуре. Уже к марту 2024 года на территории института запланирован запуск полупромышленного цикла производства препаратов белков CRISPR/Cas для научно-исследовательских целей, создания терапевтических и диагностических препаратов. Первая очередь производства будет включать восемь лиофильно высушенных ферментов CRISPR/Cas, в том числе высокоочищенных с низким содержанием бактериальных эндотоксинов. Такая линейка продукции белков полностью обеспечит потребность российских учёных, облегчит бремя импорта и будет способствовать технологической независимости России в области редактирования генома.

Для производства диагностических наборов нового поколения создан метод выявления единичных копий нуклеиновых кислот возбудителей инфекционных заболеваний, основанный на CRISPR/Cas-детекции, которая позволяет с высокой чувствительностью находить единичные копии нуклеиновых кислот в образцах после предварительной амплификации. Институт готовится к внедрению в производство платформенных решений по подготовке диагностических систем на основе амплификации, совмещённой с CRISPR/Cas-детекцией. Это даст возможность использовать уникальные тест-системы, не требующие высокотехнологичного оборудования (которые можно применять в том числе в полевых условиях, а также у постели больного). Налажены разработка современных тест-систем, новых технологий диагностики инфекционных болезней, производство высокотехнологичной продукции замкнутого цикла, включающее основные критически важные компоненты диагностических наборов (олигонуклеотиды, ферменты, контрольные образцы).

В России нужно осуществлять геномный и эпигеномный эпидемиологический надзор, реализовать научные проекты в области создания и совершенствования молекулярно-биологических методов диагностики возбудителей новых и возвращающихся инфекционных болезней, в том числе на основе современных технологий редактирования генома. Формирование платформ для конструирования универсальных рекомбинантных вакцин, активных против широкого спектра патогенов, требует расширения научных исследований реакций иммунной системы на рекомбинантные микроорганизмы, содержащие гены стимуляторов врождённого иммунного ответа. Благодаря анализу геномов и транскриптомов, а также эпигенетической информации открывается возможность идентифицировать мишени, наиболее перспективные для терапии и профилактики заболеваний, в том числе РНК-мишени, разрушающиеся вследствие РНК-интерференции. Развитие комплексного подхода к реализации системы геномного эпидемиологического

надзора с учётом последних достижений фундаментальных исследований в вирусологии, иммунологии, биотехнологии позволит внести существенный вклад в обеспечение биологической безопасности Российской Федерации.

Литература

1. WHO Fact sheets. The top 10 causes of death. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (дата обращения 10.12.2023).
2. Государственный доклад "О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году". М.: Роспотребнадзор, 2023.
Gosudarstvennyj doklad "O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossijskoj Federacii v 2022 godu" [On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2022: State Report]. Moscow: Rospotrebnadzor, 2023. (in Russ.)
3. Акимкин В.Г., Попова А.Ю., Плоскирева А.А. и др. (2022) COVID-19: эволюция пандемии в России. Сообщение I: проявления эпидемического процесса COVID-19 // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. № 3. С. 269–286.
Akimkin V.G., Popova A.Yu., Ploskireva A.A. et al. (2022) COVID-19: evolyuciya pandemii v Rossii. Soobshchenie I: proyavleniya epidemicheskogo processa COVID-19 [COVID-19: the evolution of the pandemic in Russia. Report I: Manifestations of the COVID-19 epidemic process]. Zhurnal mikrobiologii, èpidemiologii i immunobiologii, no. 3, pp. 269–286. (in Russ.)
4. Онищенко Г.Г., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б. и др. (2013) Актуальные проблемы биологической безопасности в современных условиях. Часть 1. Концептуальные основы биологической безопасности // Вестник РАМН. № 10. С. 4–13.
Onishchenko G.G., Smolensky V.Yu., Ezhlova E.B. et al. (2013) Aktual'nye problemy biologicheskoy bezopasnosti v sovremennyh usloviyah. CHast' 1. Konceptual'nye osnovy biologicheskoy bezopasnosti [Current problems of biological safety in modern conditions. Part 1. Conceptual basis of biological safety]. Vestnik RAMN, no. 10, pp. 4–13. (In Russ.)
5. Семенов Т.А. (2010) Роль банка сывороток крови в системе биологической безопасности страны // Вестник Росздравнадзора. № 3. С. 55–58.
Semenenko T.A. (2010) Rol' banka syvorotok krovi v sisteme biologicheskoy bezopasnosti strany [The role of the blood serum bank in the biological safety system of the country]. Vestnik Roszdravnadzora, no. 3, pp. 55–58. (In Russ.)
6. Меринова О.А., Топорков А.В., Меринова Л.К. и др. (2018) Биологическая безопасность: анализ современного состояния системы подготовки специалистов в Российской Федерации // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. № 3. С. 87–96.
Merinova O.A., Toporkov A.V., Merinova L.K. et al. (2018) Biologicheskaya bezopasnost': analiz sovremennogo sostoyaniya sistemy podgotovki specialistov v Rossijskoj Federacii [Biological safety: analysis the contemporary state of the system of training specialists in Russian Federation]. Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii, no. 3, pp. 87–96. (In Russ.)

7. Акимкин В.Г., Семенов Т.А., Дубоделов Д.В. и др. (2023) Теория саморегуляции паразитарных систем и COVID-19 // Вестник РАМН. <https://doi.org/10.15690/vramn11607>

Akimkin V.G, Semenenko T.A, Dubodelov D.V. et al. (2023) Teoriya samoregulyacii parazitarnyh sistem i COVID-19 [The theory of self-regulation of parasitic systems and COVID-19]. Vestnik RAMN. <https://doi.org/10.15690/vramn11607> (In Russ.)

8. Акимкин В.Г., Попова А.Ю., Хафизов К.Ф. и др. (2022) COVID-19: эволюция пандемии в России. Сообщение II: динамика циркуляции геновариантов вируса SARS-CoV-2 // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. № 4. С. 381–396.

Akimkin V.G., Popova A.Yu., Khafizov K.F. et al. (2022) COVID-19: evolyuciya pandemii v Rossii. Soobshchenie II: dinamika cirkulyacii genovariantov virusa SARS-CoV-2 [COVID-19: evolution of the pandemic in Russia. Report II: dynamics of the circulation of SARS-CoV-2 genetic variants]. Zhurnal mikrobiologii, èpidemiologii i immunobiologii, no. 4, pp. 381–396. (in Russ)

9. Anaëgoudari A., Mollaei H.R., Arababadi M.K., Nosratabadi R. (2021) Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2: The Role of the Main Components of the Innate Immune System // Inflammation. № 6. P. 2151–2169.

10. Fraschilla I., Amatullah H., Jeffrey K.L. (2022) One genome, many cell states: epigenetic control of innate immunity // Curr. Opin. Immunol. V. 75. 102173.

11. Ong G.H., Lian B.S.X., Kawasaki T., Kawai T. (2021) Exploration of Pattern Recognition Receptor Agonists as Candidate Adjuvants // Front. Cell. Infect. Microbiol. V. 11. 745016.

12. Labarrere C.A., Kassab G.S. (2021) Pattern Recognition Proteins: First Line of Defense Against Coronaviruses // Front. Immunol. V. 12. 652252.

13. Mulder W.J.M., Ochando J., Joosten L.A.B. et al. (2019) Therapeutic targeting of trained immunity // Nat. Rev. Drug Discov. № 7. P. 553–566.

14. Geckin B., Konstantin Fohse F., Dominguez-Andres J., Netea M.G. (2022) Trained immunity: implications for vaccination // Curr. Opin. Immunol. V. 77. 102190.

15. Goodridge H.S., Ahmed S.S., Curtis N. et al. (2016) Harnessing the beneficial heterologous effects of vaccination // Nat. Rev. Immunol. № 6. P. 392–400.

16. Shann F. (2010) The non-specific effects of vaccines // Arch. Dis. Child. № 9. P. 662–667.

17. Aaby P., Roth A., Ravn H. et al. (2011) Randomized trial of BCG vaccination at birth to low-birth-weight children: beneficial nonspecific effects in the neonatal period? // J. Infect. Dis. № 2. P. 245–252.

18. Tercan H., Riksen N.P., Joosten L.A.B. et al. (2021) Trained Immunity: Long-Term Adaptation in Innate Immune Responses // Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. № 1. P. 55–61.

19. Bindu S., Dandapat S., Manikandan R. et al. (2022) Prophylactic and therapeutic insights into trained immunity: A renewed concept of innate immune memory // Hum. Vaccin. Immunother. № 1. 2040238.

20. Sherwood E.R., Burelbach K.R., McBride M.A. et al. (2022) Innate Immune Memory and the Host Response to Infection // J. Immunol. № 4. P. 785–792.

21. Arico E., Bracci L., Castiello L. et al. (2022) Exploiting natural antiviral

- immunity for the control of pandemics: Lessons from Covid-19 // *Cytokine Growth Factor Rev.* V. 63. P. 23–33.
22. Netea M.G., Dominguez-Andres J., Barreiro L.B. et al. (2020) Defining trained immunity and its role in health and disease // *Nat. Rev. Immunol.* V. 20. P. 375–388.
23. Bekkering S., Dominguez-Andres J., Joosten L.A.B. et al. (2021) Trained Immunity: Reprogramming Innate Immunity in Health and Disease // *Annu. Rev. Immunol.* V. 39. P. 667–693.
24. Fanucchi S., Dominguez-Andres J., Joosten L.A.B. et al. (2021) The Intersection of Epigenetics and Metabolism in Trained Immunity // *Immunity.* № 1. P. 32–43.
25. Nieuwenhuizen N.E., Kulkarni P.S., Shaligram U. et al. (2017) The Recombinant Bacille Calmette-Guerin Vaccine VPM1002: Ready for Clinical Efficacy Testing // *Front. Immunol.* V. 8. 1147.
26. Nieuwenhuizen N.E., Kaufmann S.H.E. (2018) Next-Generation Vaccines Based on Bacille Calmette-Guerin // *Front. Immunol.* V. 9. 121.
27. Moulson A.J., Av-Gay Y. (2021) BCG immunomodulation: From the 'hygiene hypothesis' to COVID-19 // *Immunobiology.* № 1. 152052.
28. Escobar L.E. Molina-Cruz A., Barillas-Mury C. (2020) BCG vaccine protection from severe coronavirus disease 2019 (COVID-19) // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* № 30 P. 17720–17726.
29. Gong W., An H., Wang J. et al. (2022) The Natural Effect of BCG Vaccination on COVID-19: The Debate Continues // *Front. Immunol.* V. 13. 953228.
30. Алексеенко И.В., Василов Р.Г., Кондратьева Л.Г. и др. (2023) Клеточные и эпигенетические аспекты программирования тренированного иммунитета и перспективы создания универсальных вакцин в преддверии учащающихся пандемий // *Генетика.* № 9. С. 981–1001.
- Alekseenko I.V., Vasilov R.G., Kondrateva L.G. et al. (2023) Kletochnye i epigeneticheskie aspekty programmirovaniya trenirovannogo immuniteta i perspektivy sozdaniya universal'nyh vakcin v preddverii uchashchayushchihsya pandemij [Cellular and epigenetic aspects of the programming of trained immunity and prospects for the creation of universal vaccines in anticipation of increasing pandemics]. *Genetika*, no. 9, pp. 981–1001. (In Russ.)
31. Balnis J., Madrid A., Hogan K.J. et al. (2021) Blood DNA methylation and COVID-19 outcomes // *Clin. Epigenet.* V. 13. 118.
32. Wang G., Xiong Z., Yang F. et al. (2022) Identification of COVID-19-Associated DNA Methylation Variations by Integrating Methylation Array and scRNA-Seq Data at Cell-Type Resolution // *Genes (Basel).* V. 13 (7).1109.
33. Kaneko S., Takasawa K., Asada K. et al. (2021) Epigenetic Mechanisms Underlying COVID-19 Pathogenesis // *Biomedicines.* V. 9 (9). 1142.
34. Чернухин В.А., Наякшина Т.Н., Мезенцева Н.В. и др. (2005) Штамм бактерий Glacial ice bacterium I – продуцент эндонуклеазы рестрикции Gla I // Патент на изобретение RU 2287012 C1.
- Chernuhin V.A., Nayakshina T.N., Mezenceva N.V. et al. (2005) Shtamm bakterij Glacial ice bacterium I – producent endonukleazy restrikcii Gla I [Bacterial strain Glacial ice bacterium I is a producer of Gla I restriction endonuclease]. Patent na izobretenie RU 2287012 S1. (In Russ.)

35. Гончар Д.А., Акишев А.Г., Дегтярёв С.Х. (2009) Способ определения гиперметилированных CpG островков в области генов-супрессоров опухолевого роста в ДНК человека // Патент на изобретение RU 2413773 С1.

Gonchar D.A., Akishev A.G., Degtyaryov S.H. (2009) Spособ opredeleniya gipermetilirovannyh CpG ostrovkov v oblasti genov-supressorov opuholevogo rosta v DNK cheloveka [A method for determining hypermethylated CpG islets in the region of tumor suppressor genes in human DNA]. Patent na izobretenie RU 2413773 S1. (In Russ.)

36. Кузнецов В.В., Абдурашитов М.А., Акишев А.Г., Дегтярёв С.Х. (2014) Способ определения нуклеотидной последовательности Pu(5mC)GPy в заданном положении протяжённой ДНК // Патент на изобретение RU 2525710 С1.

Kuznecov V.V., Abdurashitov M.A., Akishev A.G., Degtyaryov S.H. (2014) Spособ opredeleniya nukleotidnoj posledovatel'nosti Pu(5mC)GPy v zadannom polozhenii protyazhyonnoj DNK [A method for determining the nucleotide sequence of Pu(5mC)GPy in a given position of extended DNA]. Patent na izobretenie RU 2525710 S1. (In Russ.)

37. Pashkov E., Korchevaya E., Faizuloev E. et al. (2022) Knockdown of FLT4, Nup98, and Nup205 Cellular Genes Effectively Suppresses the Reproduction of Influenza Virus Strain A/WSN/1933 (H1N1) In vitro // Infect. Disord. Drug. Targets. V. 22 (5). e250322202629.

38. Акимкин В.Г., Петров В.В., Красовитов К.В. и др. (2021) Молекулярные методы диагностики новой коронавирусной инфекции: сравнение петлевой изотермической амплификации и полимеразной цепной реакции // Вопросы вирусологии. № 6. С. 417–424.

Akimkin V.G., Petrov V.V., Krasovitev K.V. et al. (2021) Molekulyarnye metody diagnostiki novej koronavirusnoj infekcii: sravnenie petlevoj izotermicheskoj amplifikacii i polimeraznoj cepnoj reakcii [Molecular methods for diagnosing a new coronavirus infection: comparison of loop isothermal amplification and polymerase chain reaction]. Voprosy virusologii, no. 6, pp. 417–424. (In Russ.)

39. Синицын С.О., Котов И.А., Самойлов А.Е. и др. (2021) NGS-секвенирование // Молекулярная диагностика и биобезопасность – 2021. COVID-19: эпидемиология, диагностика, профилактика // Онлайн-конгресс с международным участием. 28–29 апреля 2021 г. Сб. тезисов. М.: ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора. С. 94–94. Sinitsyn S.O., Kotov I.A., Samoilov A.E. et al. NGS-sekvenirovaniya [NGS sequencing]. Molekulyarnaya diagnostika i biobezopasnost' – 2021. COVID-19: epidemiologiya, diagnostika, profilaktika // Onlajn-kongress s mezhdunarodnym uchastiem. 28–29 aprelya 2021 g. Sb. tezisov. Moscow: FBUN Central Research Institute of Epidemiology of Rospotrebnadzor, pp. 94–94. (In Russ.)

40. Esman A., Cherkashina A., Mironov K. et al. (2022) SARS-CoV-2 Variants Monitoring Using Real-Time PCR // Diagnostics. MDPI. V. 12. 2388.

41. Стародубов В.И., Береговых В.В., Акимкин В.Г. и др. (2022) COVID-19 в России: эволюция взглядов на пандемию (часть 1) // Вестник РАМН. № 3. С. 199–207. Starodubov V.I., Beregovykh V.V., Akimkin V.G. et al. (2022) COVID-19 v Rossii: evolyuciya vzglyadov na pandemiyu (chast' 1) [COVID-19 in Russia: the evolution of views on the pandemic. Message 1]. Vestnik RAMN, no. 3, pp. 199–207. (In Russ.)

42. Акимкин В.Г., Семенов Т.А., Углева С.В. и др. (2022) COVID-19 в России: эпидемиология и молекулярно-генетический мониторинг // Вестник РАМН. № 4. С. 254–260.

Akimkin V.G., Semenenko T.A., Ugleva S.V. et al. (2022) COVID-19 v Rossii: epidemiologiya i molekulyarno-geneticheskij monitoring [COVID-19 in Russia: epidemiology and molecular genetic monitoring]. Vestnik RAMN, no. 4, pp. 254–260. (In Russ.)

43. Стародубов В.И., Береговых В.В., Акимкин В.Г. и др. (2022) COVID-19 в России: эволюция взглядов на пандемию. Сообщение 2 // Вестник РАМН. № 4. С. 291–306.

Starodubov V.I., Beregovykh V.V., Akimkin V.G. et al. (2022) COVID-19 v Rossii: evolyuciya vzglyadov na pandemiyu. Soobshchenie 2 [COVID-19 in Russia: the evolution of views on the pandemic. Message 2]. Vestnik RAMN, no. 4, pp. 291–306. (In Russ.)

44. Акимкин В.Г. (2022) Эпидемиология и диагностика COVID-19. Мониторинг эволюционных изменений вируса SARS-CoV-2 // Вестник РАН. № 7. С. 647–653; Akimkin V.G. (2022) COVID-19 Epidemiology and Diagnosis: Monitoring Evolutionary Changes in the SARS-COV-2 Virus // Herald of the Russian Academy of Sciences. № 4. P. 392–398.

45. Пика М.И., Михеева О.О., Соловьёва Е.Д. и др. (2023) Получение Bst-полимеразы для диагностики различных инфекций методом петлевой изотермической амплификации // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. № 3. С. 210–218.

Pika M.I., Mikheeva O.O., Solovyova E.D. et al. (2023) Poluchenie Bst-polimerazy dlya diagnostiki razlichnyh infekcij metodom petlevoj izotermicheskoy amplifikacii [Preparation of Bst polymerase for the diagnosis of various infections using loop isothermal amplification]. Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii, no. 3, pp. 210–218. (In Russ.)

46. Хафизов К.Ф., Петров В.В., Красовитов К.В. и др. (2021) Экспресс-диагностика новой коронавирусной инфекции с помощью реакции петлевой изотермической амплификации // Вопросы вирусологии. № 1. С. 17–28.

Khafizov K.F., Petrov V.V., Krasovitev K.V. et al. (2021) Ekspress-diagnostika novoj koronavirusnoj infekcii s pomoshch'yu reakcii petlevoj izotermicheskoy amplifikacii [Express diagnosis of new coronavirus infection using loop isothermal amplification reaction]. Voprosy virusologii, no. 1, pp. 17–28. (In Russ.)

ДОКЛАД

ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН В.И. СКВОРЦОВОЙ,
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН В.В. БЕЛОУСОВА

«БИОМЕДИЦИНСКИЕ НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ: ОТ ИЗУЧЕНИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ К КОРРЕКЦИИ ПАТОЛОГИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ»

Нейронауки – одно из наиболее стремительно развивающихся современных направлений. Самая крупная конференция по нейронаукам (Society for Neuroscience) ежегодно собирает около 40 тыс. участников, что в 5–7 раз масштабнее любых других подобных мероприятий. Учёные активно работают над решением таких важных вопросов, как механизмы функционирования мозга и развития нейродегенеративных нарушений, связь сознания и психики с молекулярно-биологическими процессами.

Среди приоритетных задач Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России) – исследование мозга, разработка и внедрение биомедицинских нейротехнологий. Была принята ведомственная программа "Мозг и нейротехнологии", функционирует соответствующая проблемная комиссия, координирующая изучение мозга в биомедицинском кластере, в который входят ведущие научные организации, подведомственные агентству. Головным центром является Федеральный центр мозга и нейротехнологий ФМБА России (ФЦМН ФМБА России).

Нейротехнологии – междисциплинарная и комплексная область, требующая привлечения специалистов точных, естественных, инженерных и гуманитарных наук. Стратегические партнёры ФМБА России – ведущие институты Российской академии наук, передовые университеты, совместно с ними ведутся исследования и готовятся научные и инженерные кадры. Технологические партнёры – ООО "Лифт Центр" и Российский квантовый центр, промышленные – госкорпорации "Ростех" и "Росатом".

Синтетические нейротехнологии. Важнейшую роль в изучении механизмов функционирования здорового мозга и патогенеза заболеваний нервной системы играют синтетические нейротехнологии, к которым относятся биосенсорика, хемо-, опто- и термогенетика.

Биосенсоры – генетически кодируемые флуоресцентные зонды, предназначенные для детекции сигнальных молекул и метаболитов в живых клетках, органах и тканях. Молекула биосенсора состоит из флуоресцентного белка, интегрированного с природным белковым сенсорным доменом. Изменения во внутриклеточной концентрации определённого вещества вызывают конформационные перестройки в сенсорной части молекулы, которые передаются на флуоресцентную часть, что приводит к изменению спектра флуоресценции белка.

Научными коллективами ФЦМН ФМБА России и Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН (ИБХ РАН) разработаны биосенсоры для детекции таких молекул, как пероксид водорода [1], глутатион, NADH, гипохлорит [2], что позволило обозначить их роль, например, в патогенезе ишемического инсульта [3]. Так, в мозг экспериментальных животных с фокальной ишемией путём стереотаксической инъекции аденоассоциированных вирусов были доставлены гены биосенсоров. Туда же имплантировали оптические волокна, через которые удалось наблюдать динамику метаболических параметров мозга в ядре инсульта, зоне пенумбры и более отдалённых областях. Впервые были зарегистрированы патологические волны ацидоза, изменений рН, распространяющиеся из ядра инсульта в кору ишемизированного полушария. Интенсивность этих осцилляций достоверно коррелировала с объёмом повреждения ткани.

В настоящее время ведётся поиск новых эффективных нейропротекторов, действующих в раннем периоде "терапевтического окна", блокирующих патологические волны ацидоза и защищающих ткань мозга от запуска и распространения последующих каскадов отдалённых последствий ишемии, которые вызывают массивную гибель нейронов и глии (клеток нервной ткани, выполняющих важнейшие функции по поддержанию процессов жизнедеятельности нейронов).

Если с помощью биосенсоров можно мониторировать пространственную и временную динамику определённых молекул в клетках мозга, то *хемогенетика* позволяет управлять их концентрацией и таким образом изучать их роль в тех или иных процессах в клетках и тканях. Как и сенсоры, генетически кодируемая система доставляется в мозг с помощью аденоассоциированных вирусов. Разработан хемогенетический генератор пероксида водорода на основе дрожжевой оксидазы D-аминокислот для установления роли окислительного стресса в развитии нейродегенеративных заболеваний (исследования проводятся при поддержке Российского научного фонда). Показано, что даже небольшой окислительный стресс, который никак не влияет на параметры синаптического выброса нейромедиатора, ингибирует такие базовые процессы нейрональной пластичности, как долговременная потенция и долговременная депрессия, а также нарушает сетевую активность нейронов гиппокампа [4]. Именно нарушения синаптической пластичности, обуславливающей запоминание и обучение, выступают ранними признаками многих нейродегенеративных заболеваний, например, болезни Альцгеймера. Под контролем хемогенетических систем проводится сравнительный анализ разрабатываемых препаратов, направленных на превентивную терапию деменции и других проявлений нейродегенерации.

Ещё одним примером синтетических нейротехнологий служит *оптогенетика* – управление активностью нейронов с помощью светозависимых белков-фоторецепторов из различных одноклеточных организмов. Следует отметить, что существенным ограничением данной технологии является иммунный ответ организма на чужеродный белок. В связи с этим сотрудниками ФЦМН ФМБА России, ИБХ РАН и Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова была разработана альтернативная технология нейростимуляции – *термогенетика*, основанная на использовании термочувствительных ионных каналов человека [5]. Белки экспрессируются в

сенсорных окончаний нейронов в коже человека, благодаря им мы чувствуем тепло и холод. Встраивая эти ионные каналы в нейроны мозга, мы получаем возможность контролировать активность нейронов с помощью коротких импульсов инфракрасного лазера либо фокусированного ультразвука. Эксперименты на животных показали, что при активации терморцепторов в тормозных нейронах мозга, локализованных в зоне потенциальной эпилептоидной активности, можно купировать (в том числе превентивно) распространение волн патологического возбуждения нейронов. Таким образом, данная нейротехнология может потенциально рассматриваться для лечения пациентов, страдающих очаговыми формами эпилепсии.

Омиксные технологии предоставляют большой объём важной информации о патогенезе заболеваний нервной системы. Коллективы научных центров биомедицинского кластера ФМБА России проводят генетические, эпигенетические, мультиомиксные исследования людей с заболеваниями нервной системы разной природы, в том числе при нейродегенеративных "болезнях накопления" (болезнь Альцгеймера). Внедрены передовые технологии полногеномного секвенирования с GWAS-анализом, изучаются транскриптомы в единичных клетках отдельных структур головного мозга. Цель учёных – достичь понимания генетических основ "болезней накопления", поиск ранних предикторов и диагностически значимых биомаркеров патологического процесса в периферической крови и спинномозговой жидкости пациентов.

Исследования Центра стратегического планирования ФМБА России (ЦСП ФМБА России) показали, что в популяционной выборке населения России выявлены 39 полиморфизмов, ассоциированных с болезнью Альцгеймера. При этом достоверные отличия в гене PSEN2 выявлены для пяти вариантов и для двух – в гене APOE. Метилонный анализ пациентов с болезнью Альцгеймера выявил отличия в уровне метилирования для 2 тыс. генов (по сравнению с популяционным уровнем). Для трёх из них (кодирующих важнейшие белки синапсов) они были статистически достоверными. На основе анализа данных генетических сигнатур клеток периферической крови выполнено моделирование нейро- и иммунновоспалительных процессов в периферической крови при болезни Альцгеймера. Показано значительное повышение (в 3–4 раза) количества CD16+ НК (натуральные киллеры), что позволяет предположить существенную воспалительную компоненту в патогенезе заболевания.

Кластер научных центров ФМБА России работает над созданием протеомных диагностических систем, направленных на обнаружение ранних предикторов болезни Альцгеймера в крови, что поможет выявить риск развития заболевания за несколько лет до проявления первых клинических симптомов.

Платформы для разработки инновационных лекарственных препаратов. За последние десятилетия произошёл прорыв в ранней диагностике заболеваний мозга с применением методов *нейровизуализации* и *ядерной медицины*. В ФЦМН ФМБА России функционирует блок радионуклидной диагностики, оснащённый уникальным аппаратом ПЭТ-МРТ, который позволяет совмещать ПЭТ-изображения с любыми модальностями высокопольной 3-тесловой магнитно-резонансной томографии, что значительно расширяет возможности визуализации любых структур мозга и его кровоснабжения. В связи с этим на передний план выходят

разработка и внедрение инновационных радиофармпрепаратов, технологий Иммуно-ПЭТ, Тау-Пэт на основе ультракороткоживущих радионуклидов (совместно с госкорпорацией "Росатом"). Их внедрение планируется осуществлять в Циклотронно-радиохимическом комплексе (создаваемом совместно с ЦСП ФМБА России), с помощью которого можно проводить исследования в течение первых 10–15 мин с момента получения препарата.

Для создания новых оригинальных радиофармпрепаратов, помимо радионуклидов, необходимо разрабатывать и сами молекулярные препараты – малые молекулы, белковые препараты, моноклональные антитела. ФМБА России внедрены соответствующие платформенные принципы. Благодаря универсальному оборудованию и отработанным алгоритмам взаимодействия технологические платформы позволяют быстро ориентировать площадку на производство конкретного препарата. В системе ФМБА России созданы технологические платформы для разработки и производства рекомбинантных белков, препаратов на основе пептидного и олигонуклеотидного синтеза, РНК-интерференции, векторных и конъюгированных вакцин и др.

В 2021 году в рамках Года науки и технологий был организован Научно-производственный комплекс ФЦМН ФМБА России. Здесь функционируют технологические платформы для разработки, масштабирования и GMP-производства генотерапевтических, иммунобиологических и клеточных препаратов. Проводятся доклинические испытания собственного препарата для лечения спинальной мышечной атрофии. Исследуются возможности других генотерапевтических средств в терапии нейродегенеративных заболеваний, обусловленных гибелью клеток по механизму ферроптоза. В рамках программы Правительства Российской Федерации по импортозамещению лекарств, подверженных риску дефектуры, производственным партнёрам переданы продуценты и технологии очистки ряда иммунологических препаратов на основе моноклональных антител. Кроме того, создан первый препарат для регенеративной терапии спинальной травмы на основе мезенхимальных стволовых клеток в фибриновом гидрогеле.

В настоящее время единственным подходом, подтвердившим свою клиническую эффективность в плане восстановления двигательных и висцеральных функций при тяжёлой спинальной травме, является *нейромодуляция*. В эпидуральное пространство пациента имплантируется электродная матрица, затем проводится нейростимуляция спинного мозга по определённому алгоритму, активирующему центры ходьбы. Это приводит к перестройке нейронных связей в оставшихся структурах спинного мозга и постепенному восстановлению функции. Однако эффективность данного метода резко снижается из-за образования зоны воспаления и глиального рубца в области травмы, что мешает формированию новых нервных волокон и связей. Мезенхимальные стволовые клетки секретируют противовоспалительные и трофические факторы, в то же время их секрет помогает соседним тканям приобрести или сохранить пластичность.

Завершены доклинические исследования комбинированного регенеративного препарата, в ходе которых зафиксировано значительное увеличение эффективности нейромодуляции у экспериментальных животных со спинальной травмой. Показано, что восстановление животных достоверно возрастает и ускоряется. Началась подготовка к клиническим испытаниям.

Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины и ФМБА России ведут работы по клеточному перепрограммированию клеток кожи конкретного пациента в индуцируемые плюрипотентные клетки с последующей их дифференцировкой в нейронную ткань и получением органоидов мозга – своего рода мини-мозга миллиметрового размера. Это позволяет изучать молекулярные и клеточные механизмы патогенеза различных заболеваний нервной системы, проводить скрининг персонифицированных препаратов. С помощью данной технологии специалистам ФНКЦ ФХМ ФМБА России и Научного центра неврологии удалось выявить структурные аномалии при развитии мозга пациентов с некоторыми формами орфанных заболеваний, например, синдромом Насименто, а также полиглутаминовыми заболеваниями (атаксия 17-го типа и хорей Гентингтона) [6].

Можно ли использовать тканеинженерные конструкции в заместительной терапии при инсульте, черепно-мозговой травме или после нейрохирургического вмешательства, когда утрачивается область мозга, отвечающая за какую-либо функцию? Уже продемонстрирована возможность интеграции нейрооргановидов в мозг мыши или крысы с образованием синаптических связей между графтом и реципиентом [7]. Однако главный технологический вызов в настоящий момент – создание тканеинженерных конструкций мозга с заданной архитектурой. Аксоны и дендриты имеют определённую направленность и коннективность, характерные для конкретного участка мозга, тогда как традиционный нейрооргановид представляет собой клубок нейронов и глиальных клеток со случайной направленностью нейронных отростков и связями между ними.

Сложность моделирования клеточной, аксональной и синаптической архитектуры фрагмента мозга чрезвычайно, и для дальнейшего продвижения в этом направлении мы применяем следующие основные подходы:

- биопечать, позволяющая создавать послойные гидрогелевые каркасы, причём каждый слой может содержать клетки и факторы, которые определяют направленность роста отростков нейрона;

- вместе с Научно-исследовательским техническим университетом МИСиС мы используем биополимерные адгезивные биodeградируемые скаффолды с направленным расположением волокон; клетки на таком скаффолде также растут направленно, и это даёт надежду, что заместительная терапия мозга в перспективе выйдет из области научной фантастики.

Передовые инструментальные технологии для терапии заболеваний мозга, нейрореабилитация. *Фокусированный ультразвук* – технология, которая ещё недавно казалась недостижимой, а сейчас уже внедрена в медицинскую практику [8]. В зависимости от частоты и интенсивности фокусированного ультразвука можно добиться двух типов воздействия на ткань: термального и механического.

Термальный эффект используется в нейрохирургии в сочетании с МРТ-визуализацией. Например, при треморе, ассоциированном с болезнью Паркинсона, в ФЦМН ФМБА России применяется термодеструкция субталамических ядер промежуточного мозга под контролем МРТ. Пациент находится в сознании, без анестезии, операция не доставляет сильного дискомфорта. Тремор уходит прямо

во время процедуры, сразу после операции человек возвращается к нормальной жизни. Мы готовимся к применению фокусированного ультразвука для термодеструкции очагов эпилепсии, а также глубоких опухолей и метастазов в мозг.

Проектный офис по разработке медицинского оборудования ФЦМН ФМБА России в сотрудничестве с госкорпорацией "Ростех" занимается проектированием роботизированного комплекса фокусированного ультразвука, способного таргетировать не только глубокие, но и более поверхностные области мозга с помощью ультразвуковой навигации, что позволит использовать прибор в любой нейрохирургической операции. В настоящее время завершаются доклинические испытания установки и подготовка к производству.

Другие параметры фокусированного ультразвука оказывают, скорее, механические эффекты с временным открытием в любой области мозга гематоэнцефалического барьера, обычно непроницаемого для множества препаратов и биоинженерных клеточных конструкторов. Благодаря этому появляется возможность доставлять необходимые лекарственные средства адресно в структуры мозга. После установления роли глимфатической и менингеальной лимфатической систем в патофизиологии "болезней накопления" предложены новые терапевтические стратегии для борьбы с протеинопатией и прогрессированием заболеваний с помощью открытия гематоэнцефалического барьера фокусированным ультразвуком и дополнительных прокогнитивных влияний.

Современные нейротехнологии стали важнейшим этапом реабилитации пациентов, перенёвших заболевания нервной системы. Прежде всего, это методы, основанные на биологической обратной связи, которые позволяют в режиме реального времени регистрировать параметры (например, движения человека) и автоматически подстраивать под них реабилитационный сценарий и нагрузку, что значительно повышает реабилитационную эффективность, улучшает все параметры ходьбы и других функций.

Хорошо зарекомендовали себя технологии *виртуальной реальности*, направленные на восстановление равновесия и ходьбы, зрительного внимания, ориентирования в пространстве, зрительно-моторной координации, когнитивно-аффективных функций. Иллюзорные программы способствуют преодолению внутренних барьеров и улучшению нарушенных процессов более чем у 90% пациентов.

В неврологическую клинику в современном исполнении вернулись технологии *электроцветики*: в виде многоканальной и многомодальной стимуляции структур головного мозга с помощью транскраниальной магнитной стимуляции, транскраниальной электростимуляции постоянным или переменным электрическим током, фотостимуляции мерцающим красным светом и др.

Группой компаний "Нейроботикс" разработано нейрореабилитационное устройство Нейроплей, которое основано на детектировании биоэлектрических ритмов головного мозга и самоуправлении ими. Оно успешно адаптировано ФЦМН ФМБА России и апробировано совместно с Департаментом психологической работы Министерства обороны для устранения стрессовых расстройств у личного состава. В сотрудничестве с госкорпорацией "Росатом" ведётся адаптация этого прибора для операторов установок критической инфраструктуры. Кроме того, разрабатываются отечественные айтрекеры для нейроанимации, реабилитационных приборов с биологической обратной связью, модульных экзоскелетов.

Когда нарушенные неврологические функции необратимо утрачены и их невозможно восстановить, нужно обращаться к *нейропротезированию*. Оно охватывает такие сферы, как разработка неинвазивных и инвазивных интерфейсов «мозг–компьютер», которые позволяют преобразовывать активность мозга в сигналы, управляющие различными внешними устройствами; электродные матрицы для спинальной нейромодуляции при травмах спинного мозга; последние поколения зрительных и слуховых протезов, имплантируемых непосредственно в соответствующие отделы головного мозга; нейропротезы конечностей, управляемые сигналами нервной системы.

Для успешного развития нейропротезирования необходимо преодолеть ряд технологических барьеров, приводящих к отторжению импланта тканями головного и спинного мозга. Нужно создать мягкую электронику, механические свойства которой будут соответствовать окружающим тканям. Данные работы ведутся в научных центрах ФМБА России совместно с ООО «Лифт Центр», МИСиС и другими партнёрами. Современные нейроинтерфейсы принимают сигналы от больших групп нейронов. Чем крупнее имплантированный электрод, тем больше область мозга, от которой измеряется интегрированный сигнал. Важно получить нейроинтерфейсы, которые будут принимать информацию от отдельных нейронов, общаться с ними на языке синаптических контактов.

Коллективы ООО «Лифт Центр» и ФЦМН ФМБА России разрабатывают гибридные функционализированные микроэлектродные матрицы, которые могут принимать сигналы от синапсов нейронов, либо стимулировать нейроны через синаптическую передачу. Эти матрицы лягут в основу имплантируемой микроэлектроники будущего и позволят не только помещать в мозг сверхминиатюрные устройства, но и изучать взаимодействия между отдельными синапсами и ансамблями нейронов, чтобы понять логику нейрональной обработки сигналов, механизмов запоминания и обучения.

В заключение необходимо подчеркнуть, что национального технологического суверенитета Российской Федерации в области нейротехнологий можно достичь только путём междисциплинарного взаимодействия клинических и фундаментальных нейронаук (включая нейробиологию, нейрогенетику, нейрофизиологию и др.) с точными, естественными, инженерными и гуманитарными науками. Для дальнейшего поступательного развития нужно создать Межведомственный научный совет по нейрокогнитивным технологиям при президиуме РАН с включением в его состав представителей всех заинтересованных отделений РАН и актуализировать Федеральную научную программу исследований мозга.

Литература

1. Pak V.V, Ezeriņa D., Lyublinskaya O.G. et al. (2020) Ultrasensitive Genetically Encoded Indicator for Hydrogen Peroxide Identifies Roles for the Oxidant in Cell Migration and Mitochondrial Function. *Cell Metab.*, no. 31 (3), pp. 642–653.
2. Kostyuk A.I., Tossounian M.A., Panova A.S. et al. (2022) Hypocrates is a genetically encoded fluorescent biosensor for (pseudo)hypohalous acids and their derivatives. *Nat. Commun.*, no. 13 (1), pp. 1–71.

3. Kelmanson I.V., Shokhina A.G., Kotova D.A. et al. (2021) In vivo dynamics of acidosis and oxidative stress in the acute phase of an ischemic stroke in a rodent model. *Redox Biol.*, no. 48, 102178.

4. Kalinichenko A.L., Jappy D., Solius G.M. et al. (2023) Chemogenetic emulation of intraneuronal oxidative stress affects synaptic plasticity. *Redox Biol.*, no. 60, 102604.

5. Ermakova Y.G., Lanin A.A., Fedotov I.V. et al. (2017) Thermogenetic neurostimulation with single-cell resolution. *Nat. Commun.*, no. 8, 15362.

6. Nekrasov E.D., Vigont V.A., Klyushnikov S.A. et al. Manifestation of Huntington's disease pathology in human induced pluripotent stem cell-derived neurons. *Mol. Neurodegener.*, no. 11, 27.

7. Revah O., Gore F., Kelley K.W. et al. (2022) Maturation and circuit integration of transplanted human cortical organoids. *Nature*, no. 610 (7931), pp. 319–326.

8. Джафарова М.Ю., Джафаров В.М., Сенько И.В., Белоусов В.В. (2022) Применение фокусированного ультразвука под контролем магнитно-резонансной томографии для лечения тремора при болезни Паркинсона. Клиническое наблюдение и обзор литературы // *Российский неврологический журнал*. № 6. С. 56–62.

Jafarova M.Yu., Jafarov V.M., Senko I.V., Belousov V.V. (2022) Application of focused ultrasound under the control of magnetic resonance imaging for the treatment of tremor in Parkinson's disease. Clinical observation and literature review. *Russian Neurological Journal*, no. 6, pp. 56–62. (In Russ.)

**МАТЕРИАЛЫ НАУЧНЫХ СЕССИЙ
ОТДЕЛЕНИЙ РАН
«РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ НАУЧНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»**

ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК РАН

АКАДЕМИК РАН А. Г. АГАНБЕГЯН «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ РОССИИ. О ПЕРЕХОДЕ К УСКОРЕННОМУ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ РАЗВИТИЮ ПРИ ПОДЪЁМЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ»

1. Сниженный уровень качества и эффективность научно-технологического развития в сравнении с советским временем и передовыми странами.

Катастрофическое отставание по инновациям и развитию высокотехнологичных производств. Исключение – уровень образования достаточно высокий у нас. Его качество ниже. И совершенно низка эффективность. Вопиющее недофинансирование всех сторон научно-технологического развития и образования в составе ВВП.

2. Предложения:

- перейти к финансовому форсажу по приоритетному росту инвестиций в основной и человеческий капитал, направляемых на научно-технологическое развитие в ближайшие 3-5 лет (после окончания СВО в Украине и смягчения санкций). Поднять долю инвестиций в основной капитал в ВВП с 18-22% до 25-27%, а долю вложений в сферу «экономика знаний» – главной составной части человеческого капитала с 14-15% до 20%. К 2030 году инвестиции в основной и в человеческий капитал должны превысить по 30%;

– начать массовое научно-технологическое перевооружение действующего производства и увеличить среднетехнологичное производство в 3 раза, а высокотехнологичное – в 4 раза (до уровня развитых стран).

Задача к 2030 году – обойти здесь постсоциалистические страны Европы, а к 2035 году – достичь технологического и экономического уровня развитых стран.

3. Ввести льготы и привилегии для ускоренного научно-технологического перевооружения для предприятий и организаций:

– освободить от налога ту часть прибыли, из которой черпаются инвестиции, и увеличить инвестиции за счёт амортизационного фонда, сократив сроки амортизации в 1,5-2 раза;

– предоставить налоговую паузу и освобождение от пошлин на необходимые импортные товары на время технического перевооружения;

– предоставлять инвестиционные кредиты на научно-технологическое перевооружение и ввод новых высокотехнологичных мощностей на срок от 5 до 25 лет по сниженным до 1-5% банковских ставок в зависимости от срока окупаемости.

4. Для мобилизации дополнительных средств на инвестиции в основной и человеческий капитал в размере около 6 трлн руб. в год (по условиям 2022 г.) целесообразно, кроме названных мер, повернуть банковскую систему к решению социально-экономических задач развития страны и с этой целью увеличить долю инвестиционного кредита в основной и человеческий капитал с 1,5 трлн руб. в год в настоящее время (1% банковских активов), как минимум, до 5 трлн руб. в ближайшие три года.

При необходимости увеличить внешнеэкономический госдолг страны с 3% ВВП в необходимых размерах с возможным займом средств у Китая, Саудовской Аравии и стран ОПЕК, располагающих золотовалютными резервами в размере триллионов долларов.

5. Все указанные меры в ближайшие три года обеспечат 3-4% ежегодный социально-экономический рост, который в максимальной мере должен быть использован для преимущественного повышения благосостояния населения страны. Удвоить минимальную зарплату и размер пенсий, в полтора раза поднять низкие доходы на селе и в малых городах, увеличить пособия по безработице втрое, продолжить помощь многодетным семьям и др. При этом социальное неравенство по децильным доходам с чрезмерных 13-15 раз целесообразно снизить до 10 раз (показатель стран ЕЭС) к 2025 году и 6 раз к 2030 году.

6. После возобновления социально-экономического роста и улучшения уровня жизни темпы ежегодного прироста инвестиций в основной и человеческий капитал могут быть снижены с 10-15% до 8%, что создаст благоприятные условия для коренной трансформации социально-экономической системы России. Созданную систему государственно-олигархического капитализма с недоразвитым рынком и отсталой социальной сферой, порождающую длительный застой в России, предстоит заменить высокоразвитой социальной рыночной системой. Особое внимание при этом следовало бы уделить формированию эффективного рынка капитала и конкурентной среды, являющейся основным источником социально-экономического развития рыночных стран.

Это развитие с приоритетом задач по сбережению народа и обеспечению повышающегося уровня жизни включает проведение четырёх коренных реформ:

- реформу собственности с преобладанием частнокапиталистического сектора;
- реформу финансовой системы с заменой фискала на стимулы и воспроизводство «длинных» денег – основы инвестиций в основной и человеческий капитал;
- реформу регионального управления с укрупнением административных экономических территорий при переводе автономных республик и губерний на самокупаемость, самофинансирование и самоуправление;
- коренные социальные реформы по новому пенсионному обеспечению, по здравоохранению, образованию и НИОКР с увеличением финансирования вдвое.

Главные цели рассматриваемой трансформации – создать отсутствующий в России механизм социально-экономического роста в сочетании с системой пятилетнего стратегического планирования по примеру Китая и других рыночных стран.

АКАДЕМИК РАН С.Ю. ГЛАЗЬЕВ «КАК СОВЕРШИТЬ РЫВОК В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИКИ»

Вывод российской экономики из затяжной стагфляции возможен только на основе технологическо-финансового форсажа, предполагающего многократное увеличение инвестиций в создание базовых производств нового технологического уклада (ТУ) и модернизацию экономики на его основе (комплекс нано-, биоинженерных, информационно-коммуникационных, цифровых и аддитивных технологий). Дополняющими стратегиями являются: динамическое наверстывание технологического отставания посредством одновременного значительного увеличения кредитования инвестиций в производство и закупки наукоемкой продукции, замещающей импортную (самолеты, суда, строительная и дорожная техника, медицинское оборудование, лекарства и т.п.); увеличение глубины переработки сырьевых товаров путем льготного кредитования инвестиций в закупки необходимого для этого оборудования (газо-нефтехимия, металлургия, комплексная переработка леса и т.п.); догоняющее развитие посредством импорта передовых технологий в сферах необратимого отставания; всемерное стимулирование инновационной активности (табл. 1).

Табл. 1. Стратегия опережающего развития (сумма вклада ключевых мероприятий в ежегодный прирост производства и инвестиций)

Мероприятие Стратегии	Ежегодные темпы прироста	
	Производства	Инвестиций
1. Форсированный рост нового технологического уклада	35%	50%
2. Динамическое наверстывание в высокоразвитых сегментах экономики (авиа-, энергетическое, нефтегазовое машиностроение, строительство, сельское хозяйство)	10-30%	20-40%
3. Догоняющее развитие (промышленная сборка транспортных средств)	5-10%	10-15%
4. Углубленная переработка сырья	15-20%	20-40%
5. Стимулирование инновационной активности, развитие человеческого потенциала	5%	10%
В среднем по экономике	8%	16%

Окно возможностей для рывка в экономическом развитии, возникающее при смене ТУ, закрывается. Базовые технологии нового ТУ входят в фазу экспонен-

циального расширения (рис. 1), а освоившие их страны, оседлав новую длинную волну Кондратьева, вырываются в лидеры становления нового мирохозяйственно-го уклада (Китай, Индия).



Рис. 1. Структура нового (VI) технологического уклада

У нас остается совсем немного времени для мобилизации ресурсов в целях совершения рывка в экономическом развитии. Чтобы решить эту поставленную Президентом России задачу необходимо кардинально изменить макроэкономическую политику в следующих направлениях.

1. Привести денежно-кредитную политику в соответствие с целями многократного наращивания инвестиционной и инновационной активности посредством развертывания Банком России специальных инструментов рефинансирования коммерческих банков и институтов развития, осуществляющих кредитование инвестиций в проекты реализации стратегии опережающего развития под 0,2%; инвестиции госкорпораций – под 2%, прочие производственные инвестиции – под 4%. Общий объем таких целевых кредитов, предпочтительно в цифровых рублях, может составлять до 10 трлн руб. в год. Размещение таких кредитов должно осуществляться в рамках многосторонних инвестиционных соглашений, заключаемых заинтересованными предприятиями с уполномоченными органами государственного управления и банками-агентами Правительства Российской Федерации.

2. Осуществление обратного налогового маневра с восстановлением экспортных пошлин на вывоз сырьевых товаров и отменой НДС, зачислением этих пошлин в Бюджет развития, предназначенного для финансирования государственных целевых программ в размере более 5 трлн руб.

3. Трехкратное увеличение финансирования НИОКР путем увеличения как государственных ассигнований, так и налоговых инвестиционных кредитов, субсидирования расходов корпораций в согласованных документами стратегического планирования направлениях.

Необходимым условием успеха является правильный выбор приоритетов технико-экономического развития. Для этого разработка технологических прогнозов, моделирование перспективных технологических траекторий, картирование имеющегося научно-технического потенциала должны быть выведены на соответствующий научный уровень. Методологической основой этой работы является теория долгосрочного развития экономики как процесса смены технологических и мирохозяйственных укладов, разработанная в ЦЭМИ РАН.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН В.В. ИВАНОВ «ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА»

В мире происходит процесс формирования нового мирохозяйственного уклада (МХУ) как глобальной системы функционирования природных, социальных экономических и технологических систем в масштабах планеты в интересах повышения качества жизни. Основу протекающих глобальных процессов составляют фундаментальные законы развития Природы, Человека и Общества. По сути, речь идет о новом этапе глобализации, который можно определить как Глобализация 4.0-технологическая (Глобализация 4.0t).

Новый МХУ страны способен самостоятельно решить две основные задачи: обеспечение высокого качества жизни населения и обеспечение собственной обороны и безопасности. Очевидно, что решение этих проблем будет зависеть от наличия современного научно-технологического комплекса (НТК), базирующегося на фундаментальной науке (рис.1).



Рис. 1. Фундаментальная наука как базовый институт стратегического развития

Реформы НТК России, проведенные в 1992-2013 гг., исходили из необходимости интеграции в мировое, а фактически в американско-европейское, научно-технологическое пространство на уже установленных правилах, при общей ориентации экономики на ресурсное развитие. При этом в основу реформ были положены следующие подходы:

- ✓ перестройка системы организации науки по зарубежным стандартам;

- ✓ использование зарубежных показателей для оценки эффективности и результативности науки;
- ✓ дезинтеграция системы управления исследованиями и разработками;
- ✓ институциональное копирование (болонская система образования, трансформации РАН и т.д.).

В результате реформ России не удалось войти в число стран технологических лидеров: по международным оценкам по показателям инновационного развития Россия находится в числе развивающихся стран (табл. 1).

Табл. 1. Показатели инновационного развития России в международном сопоставлении (ГИ-21, ГИ-23)

Показатель	2021	2023
Глобальный инновационный индекс	45	51
Институты	67	110
Человеческий капитал и исследования.....	29	26
Инфраструктура	63	72
Выход знаний и технологий	28	54
<i>Источник: Глобальный инновационный индекс: WIPO - 2021,2023</i>	132 страны	

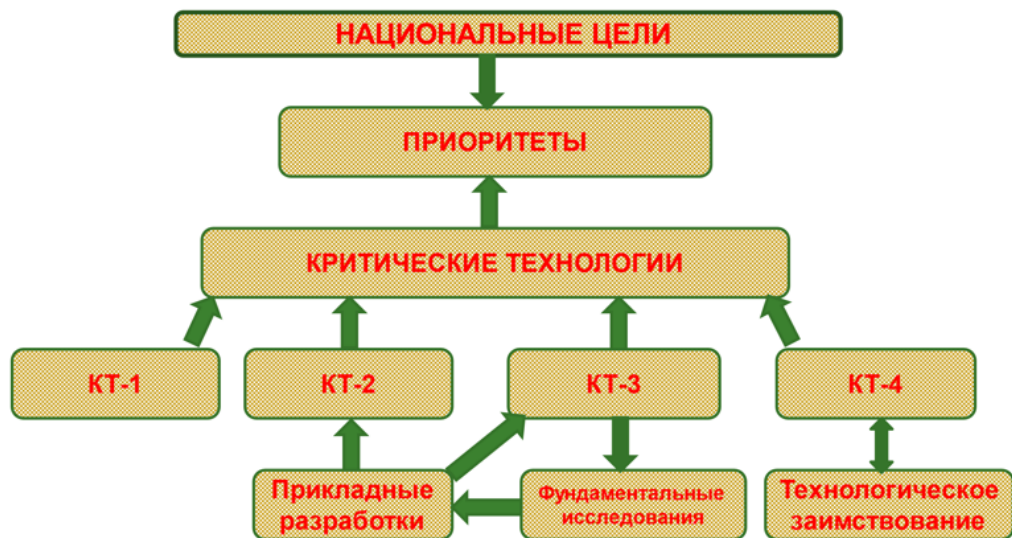
01.02.2024

20

События последних лет, прежде всего, объявление санкций, ограничивающих доступ России к передовым технологиям и оборудованию, показали необходимость обеспечения технологического суверенитета, т.е. создание такой научно-технологической базы, опираясь на которую экономика может самостоятельно производить высокотехнологичную продукцию, необходимую для решения стратегических задач развития, формировать новые глобальные рынки высокотехнологичной продукции. Это также позволит перевести экономику в режим полного инновационного цикла, что существенно сократит зависимость от внешних поставок технологий и оборудования, товаров народного потребления.

Но переход к экономике полного инновационного цикла не означает изоляцию от мировых достижений науки и технологий. Наоборот – в максимальной степени должны использоваться механизмы технологического заимствования, что широко применяется в мировой практике (рис. 2).

Переход к экономике полного инновационного цикла требует пересмотра действующей научно-технической и инновационной политики, её переориентации на обеспечение технологического суверенитета. С этой целью необходимо провести анализ действующих стратегических документов, их совместимости, и при необходимости внести соответствующие изменения. Прежде всего, должна быть обеспечена совместимость по приоритетам научно-технологического развития и механизмам реализации Стратегии национальной безопасности, Стратегии научно-технологического развития и Концепции технологического развития. При этом необходимо актуализировать Стратегию НТР, определив основной целью создание современной научно-технологической базы, обеспечивающей переход к экономике



Иванов В.В. nauka@presidium.ras.ru
www.ras.ru

24

Рис. 2. Технологическое обеспечение национальных целей развития

полного инновационного цикла, реализацию национальных приоритетов и достижение национальных целей, определённых Президентом Российской Федерации.

Учитывая, что речь идет о стратегических перспективах, необходимо в соответствии с Законом «О Стратегическом планировании в Российской Федерации» разработать документ стратегического планирования «Основы государственной политики обеспечения технологического суверенитета на период до 2035 года». При этом наука должна быть определена как ведущая производительная сила, а Российская академия наук должна быть восстановлена как высшая научная организация страны, отвечающая за организацию и проведение фундаментальных научных исследований, экспертизу важнейших государственных решений, стратегических документов и программ. С учетом опыта разработки аналогичных документов, эта работа могла бы быть выполнена Советом Безопасности Российской Федерации, Госсоветом Российской Федерации и Российской академией наук.

В части ресурсного и кадрового обеспечения необходимо разработать механизмы финансового обеспечения исследований и разработок на уровне не менее 2% ВВП.

Особое внимание должно быть уделено подготовке кадров высшей квалификации. Аспирантура должна рассматриваться не как очередная ступень образования, а как первый шаг научной карьеры. Работая над подготовкой диссертации в научной группе, аспирант (соискатель) получает навыки работы в научном коллективе, конкретные знания и опыт организации и проведения научных исследований и разработок по представлению полученных результатов. Методически это принципиально отличается от аудиторных занятий (лекции, семинары, лабораторные практикумы), являющихся основой современного высшего образования.

В части обеспечения единства научно-технологического пространства необходимо обратить особое внимание на государственную региональную научно-технологическую политику, научно-технологическое сопровождение развития территорий. Эта работа должна проводиться по следующим направлениям:

- ✓ реализация программ научно-технического и инновационного развития территорий;
- ✓ развитие территорий с высокой концентрацией научно-технологического развития;
- ✓ формирование территорий инновационного развития;
- ✓ создание инновационной инфраструктуры.

Как уже отмечалось выше, для успешного научно-технологического необходимо использовать имеющийся международный опыт. Это достигается методами научной дипломатии с использованием на данном этапе следующих механизмов:

- ✓ участие в работе международных организаций (UNESCO, IAEA и др.);
- ✓ участие в международных проектах;
- ✓ инициирование международных проектов на территории России;
- ✓ создание единого научно-технологического пространства Союзного государства России и Беларуси;
- ✓ создание единого научно-технологического пространства ЕАЭС.

В заключение сформулируем основные положения, которые могли бы стать основой политики обеспечения технологического суверенитета:

- ✓ позиционирование науки как ведущей производительной силы, обеспечивающей развитие страны, её глобальную конкурентоспособность и безопасность;
- ✓ создание системы управления, ориентированной на обеспечение технологического суверенитета и перевод экономики в режим полного инновационного цикла, обеспечение взаимодействия научно-технологического и производственного секторов, снижение административных барьеров;
- ✓ восстановление системных фундаментальных исследований под руководством РАН. При этом наряду с «чистыми» фундаментальными научными исследованиями, должны проводиться «ориентированные» фундаментальные научные исследования, направленные на решение практических задач;
- ✓ обеспечение выпуска отечественной наукоемкой продукции на основе диверсификации ОПК;
- ✓ разработка механизмов стимулирования привлечения бизнеса к развитию отечественного научно-технологического потенциала и наукоемкой промышленности;
- ✓ восстановление в бюджетной классификации раздела «Наука» с подразделами: «фундаментальные научные исследования» и «прикладные разработки»;
- ✓ обеспечение расходов на науку не менее 2% ВВП.

АКАДЕМИК РАН В.В. ОКРЕПИЛОВ «КАЧЕСТВО КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА»

Главным смыслом любой глобальной трансформации научно-технологического суверенитета всегда являлось повышение качества.

Этой цели служит применение важнейших элементов экономики качества: метрологии, стандартизации и управления качеством.

При Отделении общественных наук РАН создан и действует Научный совет «Региональные проблемы экономики качества», в состав которого входят представители академической и вузовской науки. Члены Совета активно участвуют в создании и совершенствовании законодательной базы в сфере качества. Она включает следующие основополагающие законы:

Закон Российской Федерации от 7 февраля 1992 года № 2300-1 (ред. от 11 июня 2021 года) «О защите прав потребителей»;

Закон Российской Федерации от 10 июня 1993 года № 5151-1 «О сертификации продукции и услуг»;

Федеральный закон от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании»;

Федеральный закон от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями и дополнениями);

Федеральный закон от 28 декабря 2013 года № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации»;

Федеральный закон от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

Законодательная работа в сфере качества получила важную поддержку от Отделения общественных наук РАН при внесении в 2020 году изменений в Конституцию Российской Федерации, когда членами Научного совета "Региональные проблемы экономики качества" были предложены поправки, включившие метрологию в число важнейших предметов ведения Российской Федерации. Значительную роль в этом сыграла поддержка предложенной поправки сопредседателем рабочей группы по изменению Конституции Российской Федерации заместителем президента РАН Т.Я. Хабриевой. Благодаря принятой поправке в Конституции Российской Федерации закреплена роль государственной метрологической службы, что имеет принципиальный характер для оценки её значения, финансирования и развития.

С участием членов Научного совета завершена разработка проекта новой Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2035 года, главными направлениями которой являются обеспечение полного суверенитета всей измерительной базы России, разработка государственных первичных эталонов на основе новейших отечественных научно-технических достижений, развитие государственной метрологической службы и служб на предприятиях, совершенствование подготовки кадров для национальной системы измерений и обеспечения качества.

В сфере метрологии и обеспечения единства измерений и укрепления научно-технологического суверенитета России поставлена задача обеспечить полную независимость разработки и совершенствования всех государственных первичных эталонов, база которых в настоящий момент составляет 160 единиц. В соответствии с программой развития эталонной базы ежегодно проводится разработка и совершенствование свыше 10 государственных первичных эталонов. За период 2021-2023 гг. было обновлено 28 государственных первичных эталонов.

В частности, в 2023 году для укрепления национального суверенитета России в сфере измерительных возможностей создан государственный первичный специальный эталон координат местоположения, который позволяет повысить точность, достоверность средств измерений координат спутниковой, геодезической, навигационной аппаратуры. Это чрезвычайно важно для решения задач и в мирной, и в военной области.

Поставлена также задача перевести приборную базу страны на контроль национальными средствами измерений. Утвержден План мероприятий по импортозамещению измерительного оборудования на краткосрочный период. Особенно это важно для радиоизмерительных приборов, поскольку до недавнего времени на отечественном рынке 85% таких приборов составляла продукция иностранного производства.

В рамках государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» выполняется целый ряд опытно-конструкторских работ. ОКР «Суверенитет» включает разработку и выпуск нового комплекса стандартных образцов для обеспечения единства измерений по приоритетным направлениям в целях технологического суверенитета Российской Федерации. В частности, 13 опытно-конструкторских работ выполняются по развитию радиоэлектроники.

В настоящее время Россия наряду с Китаем занимает лидирующие позиции в мире в сфере метрологии, располагая для обеспечения суверенитета полным набором национальных измерительных возможностей.

В России в сфере измерений заняты около 2 млн человек. Наши исследования показывают, что финансирование измерений ежегодно увеличивает внутренний валовой продукт государства на 0,8-1,5% за счет повышения качества и безопасности продукции.

Проведена большая работа по усовершенствованию стандартизации.

Пять лет назад средний срок разработки стандарта составлял более двух лет, сейчас – около 8 месяцев, а при оперативном прохождении всех процедур, особенно по тем областям и темам, которые связаны с необходимостью развития в Российской Федерации новых производств, можно уложиться в 3,5-4 месяца, и этому есть практические примеры.

В первую очередь это относится к наиболее зависимым от импорта отраслям, доля иностранной добавленной стоимости в которых превышает 50%, особенно если необходимую для нашей экономики продукцию выпускают в странах, присоединившихся к санкциям против России.

Лидирующее положение в разработке новых стандартов принадлежит сектору информационных технологий. Комплексная программа стандартизации в области искусственного интеллекта на 2021-2025 гг. предусматривает разработку более 200 стандартов для обеспечения безопасности и совместимости существующих решений в области искусственного интеллекта.

По данным Всемирной торговой организации и Международной организации стандартизации (ИСО) влияние стандартизации на рост ВВП составляет более 27%, а на рост производительности труда – до 30%. На уровне предприятий преимущества от стандартизации оцениваются вкладом в валовую прибыль компании на уровне до 5% от годового объема продаж.

Сегодня активно разрабатываются 63 стандарта в области наилучших доступных технологий (зеленых технологий, охраны окружающей среды, инновационной зеленой продукции). Отдельно стоит отметить серию стандартов в области ресурсосбережения и обращения с отходами, стандарты, устанавливающие требования по экологической безопасности к системам автоматического контроля выбросов в атмосферу, серию стандартов на использование очищенных сточных вод и, безусловно, новые стандарты, связанные с реализацией климатических проектов, ограничением выбросов парниковых газов.

Также 63 стандарта разрабатываются в сфере корпоративного управления, в том числе стратегического и инновационного менеджмента, риск-менеджмента, статистических методов управления, аудита и систем менеджмента, что имеет большое значение для совершенствования работы по управлению качеством на всех уровнях управления.

Законодательством о стандартизации предусмотрена возможность регистрации в Федеральном информационном фонде стандартов и прямого применения зарубежных и международных стандартов тех дружественных государств, с которыми подписаны соответствующие соглашения.

Например, с Китаем заключено официальное соглашение, позволяющее регистрировать в фонде государственные стандарты КНР (GB), в том числе в целях прямого применения на территории нашей страны. Существует и практика использования стандартов ГОСТ на территории КНР.

Активно развивается двустороннее сотрудничество с другими национальными органами по стандартизации дружественных стран.

Важнейшим направлением укрепления суверенитета России в сфере качества является совершенствование подготовки кадров в сфере качества, которые обладают современными знаниями для реализации задач по управлению качеством на предприятиях в условиях цифровой трансформации экономики.

Членами Научного совета «Экономика качества» в 2023 году была продолжена работа по совершенствованию созданной в Санкт-Петербурге уникальной многоуровневой системы непрерывного обучения кадров по экономике качества в сферах среднего, высшего и дополнительного профессионального образования. Получила развитие деятельность метрологического кластера, который объединяет 21 вуз; 37 школ; 3 колледжа; 4 детских сада; 25 предприятий и организаций. Деятельность в рамках кластера позволила улучшить профориентационную работу и качество подготовки поступающих на метрологические специальности в ведущих вузах Петербурга. Для обучения по этим специальностям членами Научного совета издан уникальный учебник «Основы цифровой метрологии».

С активным участием членов Научного совета подготовлен к изданию первый в России учебник «Стандартизация в условиях цифровой трансформации», в котором раскрыты взаимосвязь стандартизации и цифровой трансформации экономики,

влияние национальной системы стандартизации на экономическое развитие страны и повышение качества жизни населения в условиях цифрового общества, представлена проактивная модель совершенствования национальной системы стандартизации, нацеленной на развитие научно-технологического потенциала страны.

Необходимо отметить, что по всем основным направлениям обеспечения качества продукции в сфере высоких технологий, как показывает опыт развития в последние годы оборонных отраслей промышленности, Россия не уступает странам так называемой «семёрки», а по состоянию метрологии опережает эти страны. Это обеспечивает в сфере качества фундамент для успешного обеспечения научно-технологического суверенитета России.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН А.Р. БАХТИЗИН «АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ЗАДАЧ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ»

После критики Аланом Кирманом (Kirman, 1992) моделей репрезентативного агента, предпринимались попытки разработать макроэкономическую теорию с использованием разнородных индивидуумов. Одна из них заключалась в расширении методологии построения динамических стохастических моделей общего равновесия (Dynamic Stochastic General Equilibrium, DSGE) путем включения в них гетерогенных агентов, но самое главное – использование агент-ориентированных моделей. Большое количество успешных примеров в этих направлениях собрано в работе “*Computational Economics: Heterogeneous Agent Modeling*” (Hommes, LeBaron, eds., 2018).

В последние годы этот инструментарий прочно вошел в арсенал средств, используемых научными организациями, аналитическими центрами, корпорациями, органами государственного управления и др. применительно к вопросам моделирования и прогнозирования экономических процессов. Так, в октябрьской статье 2003 г. “Agents of creation”³ журнала “The Economist” агент-ориентированные модели позиционировались как новый инструмент моделирования сложных систем, в 2010 году в этом же издании в статье “Agents of change”⁴ они рассматривались как альтернатива динамическим стохастическим моделям общего экономического равновесия и с тех пор постоянно фигурируют в качестве доказавшего свою эффективность инструмента.

В редакционной статье журнала “Nature” агентное моделирование рекомендовалось в качестве перспективного и многообещающего инструмента исследования социально-экономических процессов (Farmer, Foley, 2009).

С использованием разработанного в ЦЭМИ РАН программного комплекса «Мёбиус» было проведено множество расчетов, к примеру:

- прогноз изменений возрастно-половой структуры населения регионов России (Бахтизин А.Р., Макаров В.Л., Максаков А.А. и др., 2021);
- демографические изменения в Европейском союзе с учетом важных факторов, таких как внутренние установки людей, влияющие на их стратегию репродуктивного поведения, а также миграционный приток извне (Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Л.А. и др., 2019);
- динамика трудовой миграции между Россией и Китаем (Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. и др., 2017);

³Статья журнала «The Economist», вышедшая в 2003 г.: <https://www.economist.com/science-and-technology/2003/10/09/agents-of-creation>.

⁴Статья журнала «The Economist», вышедшая в 2010 г.: <https://www.economist.com/finance-and-economics/2010/07/22/agents-of-change>.

– уровень загрязнений в некоторых регионах Российской Федерации с учетом пространственного размещения производств и стационарных источников выбросов (Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. и др., 2020);

– прогноз основных макроэкономических показателей России и ее субъектов в результате изменения ставок основных налогов, бюджетных субсидий, объема денежной массы, ключевой ставки, цен на основные энергоносители, курса доллара и др. (Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Хабриев Б.Р., 2018).

Важные направления дальнейшей работы

Сфера применения агентного моделирования значительно расширилась за последнюю четверть века, вобрав в себя множество направлений в самых разных масштабах – от молекулярного до глобального. Проблемы прошлого века, связанные с потребностями в вычислительных ресурсах для крупномасштабного моделирования, в значительной степени преодолены и следующим шагом должна стать цифровая симуляция происходящих общественных процессов в реальном времени. Мы выделяем три наиболее приоритетных направления для дальнейшего развития.

Первое – построение моделей в рамках экономических, экологических, эпидемиологических систем, независимо от их соответствия существующим политическим границам, которые не имеют большого значения для пандемии COVID-19 или климатических изменений.

Второе направление логично продолжает первое. Все упомянутые системы тесно связаны друг с другом. Так, эпидемии влияют на экономическую динамику, а климатические изменения сдвигают ареалы обитания комаров и новые болезни в мегаполисы северного полушария и т.д. Возникает множество новых вопросов. К примеру, как урбанизация влияет на здоровье людей, экономический рост и политическую стабильность? Одновременно с этим меняется объем и структура новых данных, на этот процесс также оказывает влияние появление данных из социальных сетей, имеющих геопространственную привязку. Все это создает запрос для создания агент-ориентированных моделей, увязывающих перечисленные выше системы и возрастающий в прогрессии огромный объем данных.

Третье направление – наполнение моделей реалистичными, когнитивными агентами. В отдельных случаях поведение индивидуумов действительно рационально, т.е. хорошо информированные агенты максимизируют полезность с учетом бюджетных ограничений. Но при других условиях, под воздействием эмоций – к примеру, страха, переходящего в массовую панику, далекие от оптимальных действия людей могут вызвать обвалы на финансовых рынках, этническое насилие и другие негативные общественные явления.

Таким образом, мы приглашаем к разработке моделей с реалистичными, когнитивными агентами, которые возможно позволят нам лучше понять сложный современный мир и формировать динамику его развития в справедливом и мирном направлении.

Наряду с традиционными методами многомерного статистического анализа, для моделирования социально-экономических процессов и обработки данных в этой сфере стали более активно применяться различные методы искусственного интел-

лекта (ИИ), которые до этого имели хорошую теоретическую базу, но за счет резко возросших вычислительных мощностей, получили широкое распространение. В таблице 1 приведены данные по характеристикам языковых моделей, которые показывают взрывной прирост параметров и объемов используемых для обучения тренировочных информационных массивов, при этом средний путь преобразования данных для последних из предложенных моделей просто поражает – около 400 слоев.

Табл. 1. Характеристики генеративных предварительно обученных трансформеров (Generative Pre-trained Transformers (GPT))

Языковые модели	Количество параметров	Тренировочные данные	Дата выпуска
GPT-1	0,117 миллиарда	4,5 ГБ текста из 7000 книг разных жанров	11 июня 2018 г.
GPT-2	1,5 миллиарда	40 ГБ текста, 8 миллионов документов	14 февраля 2019 г.
GPT-3	175 миллиардов	570 ГБ, английская Википедия	11 июня 2020 г.
ChatGPT (на базе GPT-3.5)	175 миллиардов	Дополнительное обучение	30 ноября 2022 г.
GPT-4	1,7 триллион	Неизвестно	14 марта 2023 г.

Следует отметить, что помимо более четких текстовых ответов, при увеличении параметров также резко возрастает точность решения арифметических задач.

Помимо широкого применения этих моделей для самых различных задач (генерации текста, картинок, видео и прочего), языковые трансформеры все чаще используются для экономических прогнозов. Так, Федеральный резервный банк Сент-Луиса⁵ с использованием Google Pathways Language Model дал ретроспективный прогноз инфляции за период 2019–2023 гг. По оценкам исследователей⁶, в среднем прогнозы языковых моделей показывают меньшие среднеквадратические ошибки, чем другие инструменты. В этой связи использование генеративных трансформеров рекомендуется в дополнение к другим аналитическим методам.

В свою очередь специалисты национального банка Словакии применяли ChatGPT для настройки DSGE моделей и выявления бизнес-циклов⁷.

МВФ с использованием технологий ИИ провел анализ базы документов “Central Bank Legislation Database” по 175 центральным банкам и 273 специальным категориям⁸. Были выявлены закономерности в осуществляемой деятельности, особенности отдельных стран в осуществлении независимой денежно-кредитной политики и т.д.

⁵<https://www.stlouisfed.org>

⁶<https://research.stlouisfed.org/wp/more/2023-015>

⁷Faria e Castro, M., Leibovici, F., 2023; Artificial Intelligence and Inflation Forecasts, Federal Reserve Bank of St. Louis Working Paper 2023-015. URL <https://doi.org/10.20955/wp.2023.015>

⁸<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2023/11/18/Predicting-the-Law-Artificial-Intelligence-Findings-from-the-IMFs-Central-Bank-Legislation-541619>

Мы также протестировали ChatGPT при определении возможностей построения компьютерных моделей для анализа социально-экономических процессов. К примеру, у трансформера запросили построить упрощенную агент-ориентированную модель с использованием языка C#. ChatGPT предложил простую, но в то же время законченную программную конструкцию, включающую в себя главный класс модели, а также программный класс, реализующий функционал агента.

По умолчанию, трансформер предлагает код на языке Python, но по запросу переписывает на любой другой язык. Тестирование сгенерированного кода показало его работоспособность и корректность применения программных конструкций. Также ChatGPT способен сконвертировать разработанную программу в ее параллельную версию для последующей реализации на суперкомпьютерах.

Помимо этого, языковая модель легко справилась с программной реализацией вычислимой модели общего равновесия.

Основные выводы по работе с ChatGPT следующие:

- Трансформер генерирует довольно качественный код, который можно использовать даже без особых изменений и точно без проблем в виде приложений к дипломным и диссертационным работам. Для реальных разработок, которые предполагается использовать для решения практических задач, этот инструмент пока еще не годится.
- Возможно построение каркаса модели для последующей доработки.
- По результатам генерации кода можно получить информацию об эффективном способе реализации различных операций (с точки зрения системы) и возможности использования лучших библиотек.
- Трансформер позволяет быстро реализовывать тривиальные операции (поиск максимального элемента в массиве и т.д.).

Что ждать дальше?

Топовый научный журнал “Nature” перечислил ожидаемые научные прорывы 2024 г. Среди них:

1) Новая версия большой языковой модели от OpenAI – GPT-5, а также система ИИ AlphaFold от Google, которая будет использоваться для моделирования лекарств. Характеристики GPT-5 пока неизвестны, но похоже, что они будут еще более впечатляющими, чем у предшественников. Так, модель GPT-2, выпущенная в феврале 2019 г. содержала 1.5 млрд параметров, GPT-3 (июнь 2020 г.) 175 млрд параметров, а GPT-4 (март 2023 г.) уже около 1.7 трлн параметров.

2) Также в 2024 году в Европе будет запущен первый в этом макрорегионе эксафлопсный суперкомпьютер Jupiter (т.е. миллиард миллиардов операций в секунду), который предполагается использовать для создания «цифровых двойников» человеческого сердца и мозга в медицинских целях. В свою очередь в США будут введены в эксплуатацию две эксафлопсные машины: Augoga в Аргоннской национальной лаборатории для разработки нейронных сетей и El Capitan в Ливерморской национальной лаборатории для моделирования последствий применения ядерного оружия.

Естественно, что эти системы будут использоваться и для разработки новых, более продвинутых языковых моделей.

Вообще развитие ИИ станет основным трендом ближайшего будущего. Помимо Nature, в конце ноября 2023 г. международная компания Boston Consulting Group определила следующий шаг в развитии ИИ – создание автономных агентов, которые станут мейнстримом в последующие годы и кардинально усилят сегодняшние большие языковые модели. По экспертным оценкам они станут массовыми в течение ближайших 3–5 лет. Их повсеместное распространение позволит автоматизировать многие рабочие процессы, а также приведет к созданию сообществ автономных агентов, для которых языковая модель будет мозгом, а наш мир – средой функционирования. Такие агенты будут планировать свою деятельность, получать информацию (в виде текста, изображений с камер и сенсоров и т.д.), обрабатывать ее, а также записывать в краткосрочную и долгосрочную память. С использованием полученной информации автономный агент будет выбирать подходящие действия для текущей ситуации и оценивать их эффективность на основе обратной связи. Причем используемые генеративные трансформеры будут гигантскими – гораздо больше, чем GPT-4 с 1.7 трлн параметров. Перечень решаемых задач также будет расширяться, в том числе и за счет задач экономического прогнозирования и планирования.

Возможности и характеристики автономных агентов на базе языковых моделей:

- языковая модель является мозгом агента, а наш мир – средой функционирования;
- планирование;
- получение (текст, камеры, сенсоры) и обработка информации;
- выбор подходящего действия для текущей ситуации;
- оценивание эффективности на основе обратной связи;
- запись в краткосрочную и долгосрочную память;
- обратная связь от человека (недостаток – задержка на написания текста);
- обратная связь от модели;
- интеграция долгосрочного планирования и системы обработки обратной связи позволяет серьезно развивать агентов;
- модуль памяти: агент сам пишет подпрограммы для будущего исполнения;
- планирование через дебаты между агентами (устойчивый результат достигается через 3–4 итерации).

Аналитическая организация RAND Corporation выпустила новый материал с анализом возможностей Народно-освободительной армии Китая в использовании генеративных моделей с целью усиления влияния КНР в «*борьбе с демократическими процессами, осуществляемыми под контролем США*»⁹.

В первую очередь предполагается активное применение генеративного ИИ для создания масштабной социальной сети ботов, которые будут имитировать полноценное общение большого количества «людей», неотличимых от реальных гражд-

⁹<https://www.rand.org/pubs/testimonies/CTA3191-1.html>

дан. По данным RAND на сентябрь 2023 г. в Китае в стадии разработки находятся около 130 больших языковых моделей и в будущем они могут быть использованы для противодействия политике США по Тайваню и для вмешательства в предстоящие выборы американского президента в ноябре 2024 года.

Ниже приведены основные направления использования этих моделей, определенные исследователями RAND.

1. Ранее агенты влияния КНР платили влиятельным лицам из Тайваня за продвижение прокитайского контента, но такую активность было легко идентифицировать за счет того, что сообщения носили разовый характер и были приурочены к определенному событию. В свою очередь генеративные языковые модели смогут заметно увеличить нужный для Китая контент.

2. Для создания видимости обсуждения определенной темы использовалось большое количество фейковых аккаунтов, легко выявляемых за счет однотипности сообщений. Генеративные модели будут создавать как уникальные текстовые сообщения любой длины, так и аудио и видео файлы.

Также предполагается:

3. Формирование большого количества эмоциональных «личных» историй с целью воздействия на определенные социальные группы.

4. Создание текстового контента в стиле конкретных публичных лиц с целью введения в заблуждение целевой аудитории.

5. Генерация массового контента для корректировки результатов работы поисковых систем по определенным запросам.

RAND Corporation ожидает резкое повышение такой активности в текущем и последующих годах.

Таким образом, потенциал больших языковых моделей еще не раскрыт, а вот смогут ли они заменить традиционные методы моделирования и прогнозирования социально-экономических систем покажет время.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН А.А. ШИРОВ «РЫНОК ТРУДА В УСЛОВИЯХ СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ»

Масштабное изменение условий функционирования российской экономики, произошедшее в 2022-2023 гг., сформировало условия для структурного сдвига в российской промышленности. Если до сих пор ключевым фактором, определявшим динамику производства, выступала добыча полезных ископаемых, то теперь фокус сместился в область обрабатывающих производств. По итогам 2023 года из 3,5% роста промышленного производства более 2% приходилось на такие виды деятельности, как производство готовых металлических изделий, производство прочих транспортных средств и оборудования, производство компьютеров, электронных и оптических изделий. Темпы роста производства в этих видах деятельности составляли около 30% по отношению к 2022 г. В целом обрабатывающие производства выросли в 2023 г. на 7,5%.

Столь существенная динамика производства не могла не сказаться на спросе на труд. При этом уже было недостаточно простого роста интенсивности производства на существующих мощностях. Потребовалось увеличение сменности, а значит стал необходим и найм новых сотрудников. Возникла новая для российской экономики тенденция – опережающий рост занятости в обрабатывающих секторах экономики. Она привела к нескольким важным последствиям. Во-первых, росту спроса на квалифицированных работников промышленных предприятий. Во-вторых, росту оплаты труда в обрабатывающих производствах. В-третьих, перетоку работников из сектора производственных услуг (транспорт, ЖКХ и т.д.) в промышленность. Высокие темпы роста производства также способствовали повышению эффективности трудовых ресурсов. По оценкам ИМП РАН рост производительности труда в машиностроительных видах деятельности в 2023 году составил от 10% до 17%. Одновременно с этим можно отметить, что большинство вновь нанятых работников промышленных предприятий принималась на предприятия с различными ограничениями. Рост занятости (на 2,3% в 2023 к 2022 г.) происходил при опережающем замещении рабочих мест по договорам ГПХ и внешними совместителями. Такая динамика может расцениваться как оценка руководством предприятий временного характера повышенного спроса на трудовые ресурсы.

В целом, сложившаяся на рынке труда ситуация способствует нарастанию конкуренции за квалифицированных работников и росту оплаты труда в экономике. В то же время по мере загрузки конкурентоспособных мощностей можно ожидать постепенного снижения остроты дефицита на рынке труда. В связи с этим создаются условия для реализации системных решений, обеспечивающих устранение ограничений развития, связанных с обеспечением экономики трудовыми ресурсами.

С точки зрения формирования эффективной государственной политики на рынке труда следует определиться с тем, на основе каких показателей может

оцениваться эффективность использования трудовых ресурсов. Традиционный теоретический подход предполагает использование отношения произведенной добавленной стоимости (выпуска) и численности работников (отработанного времени). Однако, как показывает анализ статистики Росстата, а также межстрановые сопоставления такие оценки, как правило, повторяют динамику показателей экономической динамики возрастая в периоды улучшения экономической конъюнктуры и снижаясь в периоды ее ухудшения. В то же время периоды спада не могут выступать абсолютным ограничением для роста производительности труда. Поэтому при анализе эффективности использования трудовых ресурсов могут использоваться альтернативные подходы, устраняющие эту проблему. Один из них связан с использованием инструмента производственных функций и расчетов на их основе. Однако использование таких инструментов вряд ли доступно широкому кругу исследователей и лишь с определенными ограничениями может использоваться при реализации государственной политики. Более простым и доступным для практических решений является использование индикаторов эффективности использования трудовых ресурсов, отражающих изменение издержек на труд. В частности, если рассматривать изменение доли оплаты труда в произведенном ВВП, то можно отметить, что она снизилась с максимума в 48% в 2016 г. до 39% в 2022 г., что касается доли оплаты труда в валовом выпуске, то она снизилась с максимума в 28% в 2014 г. до 22% в 2022 г. Преимущество данных показателей состоит в том, что они в той или иной степени отражают относительное влияние оплаты труда на ключевые итоговые показатели развития экономики и в некоторой степени свободны от влияния конъюнктуры. Например, в условиях «разогрева» рынка труда в 2023 г. статистика отмечала и повышение доли оплаты труда в структуре добавленной стоимости до 40,3%.

Решения в области политики повышения производительности труда должны рассматриваться в контексте научно-технологического развития страны. При этом одна часть мероприятий по повышению эффективности производства, связанная с отдельными организационными мероприятиями является менее капиталоемкой, а другая часть, предполагающая внедрение новых технологий, более капиталоемкой. В связи с этим всю совокупность видов деятельности в российской экономике можно разделить на несколько крупных групп. Первая – в которой производственные мощности были в основном модернизированы в последние полтора десятилетия и соответствуют современным требованиям по эффективности производства. К этой группе могут быть отнесены такие виды деятельности как фармацевтика, производство готовых металлических изделий, мебели, резиновых и пластмассовых изделий, химическое и целлюлозно-бумажное производство. В этой группе дальнейший рост производительности труда возможен лишь при внедрении более современных технологий мирового уровня. Вторая группа – производства, где существует потенциал роста производительности труда как за счет организационных, так и технологических инноваций. К этой группе относятся практически все машиностроительные производства, а также производство прочих неметаллических минеральных продуктов. Третья – группа, в которой рост производительности труда сдерживается дополнительными институциональными или конъюнктурными ограничениями.

К этой группе можно отнести нефтепереработку, производство автотранспортных средств, металлургию, текстильное и пищевое производство. Соответственно, при выработке политики в отношении повышения производительности труда эти отраслевые особенности должны учитываться.

Демографические ограничения, которые будут способствовать развитию российской экономики в ближайшие десятилетия, обостряют вопрос о формировании эффективного рынка труда. Решению этой задачи должен способствовать комплекс специализированных мероприятий экономической политики, которые должны опираться на прогноз отраслевого, квалификационного и регионального спроса на трудовые ресурсы. Такой прогноз может быть реализован с учетом существующей и развивающейся под воздействием технологических сдвигов перспективной системы межотраслевых взаимодействий. Важно отметить, что прогноз должен оценивать не только прямой спрос на трудовые ресурсы, но и косвенные эффекты, связанные с изменением кооперационных связей между видами деятельности. Требуется увязывать между собой инвестиции в обновление производственных фондов, параметры производительности руда и спрос на работников различного уровня квалификации. Имея данные об отраслевой численности занятых, их квалификации и оплате труда можно формировать параметры издержек на труд, оценивать влияние оплаты труда на доходы бизнеса и населения. Отраслевые и квалификационные параметры занятости могут выступать в качестве ключевых требований к системе образования.

С учетом имеющихся в настоящее время данных о перспективных изменениях в уроне используемых технологий в ближайшие два десятилетия можно предположить, что ключевые направления структурных сдвигов в экономике и занятости будут связаны с расширением цифровизации, внедрением новых конструкционных материалов, использованием новых технологий на транспорте, снижением использования ископаемого топлива. В целом, эти технологии будут способствовать постепенному снижению занятости в таких видах деятельности, как торговля, добыча полезных ископаемых, транспорт, сельское хозяйство, операции с недвижимым имуществом. При этом следует ожидать роста занятости в таких видах деятельности, как высокотехнологичные обрабатывающие производства, исследования и разработки, здравоохранение. Следует также отметить, что в сценариях с большими среднегодовыми темпами роста ВВП (на уровне 3-4%) отмечается меньшая напряженность на рынке труда, чем в сценариях с более низкими темпами роста ВВП (на уровне 1,5-2%), что объясняется более быстрыми благоприятными сдвигами в структуре производства в первом случае.

В целом в части современного и перспективного состояния российского рынка труда могут быть сделаны следующие ключевые выводы:

- Российская экономика переживает масштабный структурный сдвиг, определяющийся опережающим ростом конечных обрабатывающих производств и ростом интенсивности использования труда в них.
- Текущие оценки приростной трудоемкости отдельных видов деятельности указывают, что для устранения ограничений развития по трудовым ресурсам необходимо существенно изменить систему межотраслевых взаимодействий и повысить эффективность производства.

- Традиционный взгляд на производительность труда не позволяет отслеживать реальные характеристики эффективности его использования. Более показательны оценки, отражающие изменение издержек труда при формировании цены продукции.

- В отдельных секторах российской экономики сохраняются резервы повышения эффективности использования труда за счет относительно низкокапиталоемких мероприятий организационного характера.

- Прогноз занятости в средне- и долгосрочной перспективе предполагает жесткую увязку с параметрами демографии, технологического развития и отраслевой экономической динамики.

- Для эффективного решения задач на рынке труда требуются более высокие темпы роста, предполагающие необходимые сдвиги в структуре производства в пользу более эффективных и менее трудоемких отраслей.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН В.В. ЛОКОСОВ «НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ В ЧЕЛОВЕЧЕСКОМ ИЗМЕРЕНИИ»

1. В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (далее – Стратегия НТР) его человеческое измерение определяется через взаимодействие человека и природы, человека и техники, социальных институтов с применением методов гуманитарных и социальных наук. Однако, в содержание Стратегии НТР включены лишь фрагментарные упоминания человеческого измерения, в основном касающиеся противодействия социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму. Содержание Стратегии тяготеет к технократизму (техницизму), что выражается в завышенной оценке возможностей технологического развития и заниженной оценке его рисков для общества, зачастую в отрыве от интересов и ценностей человека. Технократический подход может привести к доминированию идей трансгуманизма, эксгуманизма и установлению так называемого цифрового тоталитаризма. Эта угроза является экзистенциальной, но она отсутствует в перечне больших вызовов.

2. Демографический переход неправомерно включать в перечень больших вызовов. Старение населения и другие последствия демографического перехода не несут прямых негативных последствий для НТР. С учётом того, что производительность труда в российской экономике в 3 раза отстаёт, а материалоемкость продукции в 2 раза превышает показатели экономических лидеров, технологическое развитие способно с запасом перекрыть демографические проблемы, в том числе, связанные с дефицитом рабочей силы. В случае более эффективной реализации человеческого потенциала, количественные характеристики населения, к которым, прежде всего, относятся демографические, будут терять свое значение по сравнению с качественными.

3. Особенностью нового технологического, а может быть, и общественного уклада, является его социальный характер, когда главными отраслями экономики становятся образование, здравоохранение, наука и культура, которые формируют так называемую экономику знаний. Переход к социальному состоянию экономики, инновации социально-коммуникационного взаимодействия открывают возможности для дополнительного вовлечения значительной части населения в активную созидательную деятельность. Основным источником национального богатства становится человеческий потенциал. Поэтому социальные технологии имеют для общества не меньшее значение, чем био-, нано-, инфо- и другие технологии. Однако в настоящее время продолжает преобладать технократический подход и среди 15 сквозных (прорывных) технологий нет ни одной социальной.

4. Радикальное реформирование сфер высшего образования и науки проводилось не только под чрезмерным влиянием технократического подхода, но и при игнорировании отечественного опыта НТР и национальных традиций, зачастую без экспертного сопровождения методом проб и ошибок. Отсюда во многом про-

исходит невосприимчивость экономики и общества к инновациям и принижение значения и достижений отечественной науки. Проекты технологического суверенитета, сквозных технологий, развития малых технологических компаний безусловно важны, но общество становится восприимчивым к инновациям, в том числе, через сохранение социально-исторической преемственности организации образования и науки, а также использование социальных механизмов формирования общественного мнения.

5. Основной акцент в человеческом измерении НТР делается на наиболее полном использовании интеллектуального потенциала нации, что фактически сводится к его кадровому обеспечению, прежде всего за счёт молодых исследователей в возрасте до 39 лет. Но финансирование социальных отраслей экономики России, в том числе научных исследований, осуществляется на уровне, не позволяющем полноценно конкурировать со странами – технологическими лидерами. Поэтому Россия была и остаётся донором человеческого капитала для мировой науки. По социологическим опросам, реальная власть в стране принадлежит чиновникам и бизнесменам. Этот дуумвират надо расширить, по крайней мере, до триумвирата за счёт включения в него научных работников.

Предложения.

- В перечень больших вызовов следует внести угрозу установления тотального технологического контроля над жизнедеятельностью человека с использованием идей трансгуманизма и эксгуманизма. Причём подобный контроль, с учётом возможностей развития цифровой среды, может быть установлен как на внутреннем, так и на внешнем контурах.

- Последствия демографического перехода следует снять из перечня больших вызовов, т.к. численность населения и его другие количественные характеристики в социальной экономике XXI века не будут играть ведущей роли. При этом для нейтрализации демографических проблем надо избегать непродуманных заимствований по цифровому образованию и дистанционной занятости.

- Внести в перечень сквозных (прорывных) технологий социальные (управленческие, организационные, коммуникативные, демографические и другие) технологии, от которых напрямую зависит эффективность российских исследовательских организаций, генерация и использование новых знаний.

- Предусмотреть разработку социальных механизмов сопровождения проектов НТР, направленных, в том числе, на их экспертное обоснование и укрепление доверия населения к возможностям и способам реализации.

- Вернуть в общественное сознание (в первую очередь, молодёжи) престиж научной деятельности, что подразумевает существенное изменение её материального, инфраструктурного и репутационного обеспечения. При этом сохранить преемственность поколений и не делать из возрастного ценза некую «черту оседлости» для научных работников старшего поколения.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Г.Б. КЛЕЙНЕР «ГЕНЕРАЦИЯ ИННОВАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЙ»

Инновационный процесс – процесс генерации, имплементации и распространения инноваций в экономике – является одним из стержневых процессов экономического развития. Важно подчеркнуть, что значимость инновационного процесса обусловлена не только его непосредственным результатом, т.е. созданием новых видов материальных и нематериальных благ, но и ролью, которую он играет в обеспечении связности социально-экономического пространства-времени и целостности изучаемой социально-экономической системы.

Инновационный процесс – необходимое условие перехода к экономике знаний (В.Л. Макаров), ноономике (С.Д. Бодрунов), интеллектуальной экономике (Г.Б. Клейнер).

В настоящем докладе инновационный процесс анализируется на основе применения методологии системной экономической теории и пространственно-временного анализа. Мы приходим к выводу о необходимости включения требований по обеспечению сбалансированности объектного, средового, процессного и проектного секторов экономики в стратегию инновационного развития страны. В связи с этим определяется роль Российской академии наук как драйвера инновационного процесса в отечественной экономике.

В настоящее время инновационный процесс в России находится на недопустимо низком уровне. Доля инновационной продукции в общем объеме продаж промышленных предприятий составляет всего 5,1%. Удельный вес инновационно активных предприятий в 2019 г. составил 9,1%, в 2020 г. – 10,8%, в 2021 г. – 11,9%, в 2022 г. – 11,0%. Опросы, проводимые Научным советом «Проблемы комплексного развития промышленных предприятий» при ООИ РАН, выявили, что в 2019 г. технологическую стратегию формируют 41% опрошенных компаний, инновационную стратегию – 28%, стратегию НИОКР – только 14%. Зачастую взаимоотношения работодателей и работников осуществляются на основе «логики крепостного права»: вложения в инновационно активных работников, способных к переходу на другие предприятия, считаются рискованными.

Инновационный процесс является многоаспектным и представляет собой сплетение экономических, социальных, технико-технологических и организационных компонентов, в числе которых:

- ментальные процессы (возникновение и абсорбция инноваций);
- социальные процессы (межсубъектный обмен инновациями; деятельность инноваторов как пример для экономических агентов);
- ветвящиеся диффузные процессы (генерация последующих инноваций на основе предыдущих);
- когнитивные процессы (формирование новых знаний);
- информационные процессы (распространение информации);
- управленческие процессы (принятие и реализация инновационных решений в условиях неопределенности);
- духовные процессы (движение к общественному идеалу);
- и др.

Рассмотрим более детально некоторые наиболее важные из этих процессов.

Ментальные процессы. Ключевым элементом перехода к устойчивому инновационному развитию экономики является изменение мировоззрения участников экономической деятельности по отношению к инновациям. Статическая картина мира должна уступить в сознании большинства агентов динамической модели окружающей социально-экономической среды, отражающей инновационную эволюцию материального, духовного, социального и природного окружения человека. Основным здесь должно быть изменение ментальных моделей дискретного и непрерывного. Прогрессивная концепция прерывистой эволюции смещает акцент с непрерывного последовательного процесса развития на дискретные события, резко меняющие ход истории. Инновационно-ориентированное мировоззрение воспринимает дискретно-непрерывный инновационный процесс как единое целое, точнее говоря, как единое инновационное пространство-время. Сгущая краски, можно сказать, что в инновационной картине мира субъект постоянно находится в ожидании неожиданности. Выразительные мемы с элементами негативной коннотации, такие как «созидательное разрушение» (Й. Шумпетер) инновационного мировоззрения должны в рамках данного подхода уступить место позитивным ментальным моделям инновационного развития типа «многоэтажное строительство», в котором каждый следующий ярус не разрушает предыдущий, а опирается на него. При таком взгляде инновационное развитие должно стать устойчивым.

Социальные процессы. Ключевым элементом инновационного развития в социальном измерении является концепция доверия. Устойчивое инновационное развитие предполагает высокий уровень доверия не только к настоящему и будущему, но и к прошлому. Доверие к будущему означает надежду на включение данной инновации как устойчивого элемента в будущие социально-экономические процессы. Доверие к настоящему отражает представления о своевременности создания, распространения и абсорбции инновации. Наконец, доверие к прошлому обеспечивает своего рода безопасность инновационной деятельности, учет особенностей исторических кейсов разработки и распространения инноваций. Переход к инновационной экономике невозможен без кардинального повышения уровня доверия в обществе.

Когнитивные процессы. Свойствами, похожими на свойства ветвящихся диффузных процессов, обладают и когнитивные процессы – процессы возникновения и абсорбции знаний, в ходе которых полученные знания «порождают» новые знания. Речь идет здесь не о фертильных свойствах знаний, а о принципиальной ненасыщаемости потребности каждого отдельного субъекта в знаниях. Стремление к познанию, так же как и стремление к созиданию, заложено в природе человека, что и приводит к «порождению» новых знаний на базе имеющихся. Инновационные и когнитивные процессы развиваются параллельно, синхронно и во взаимной обусловленности. Это обстоятельство приводит к необходимости согласованного развития научно-технического прогресса, науки и образования.

Информационные процессы. Каждая инновация содержит значимый объем новой информации, необходимой для имплементации инновации в сферу реальной экономики. Однако не менее важное значение имеет сопутствующая информация

– информация об инновации, в том числе о процессах ее генерации, распространения, потенциального или реального внедрения. Это означает, что интенсивность инновационных процессов зависит от пропускной способности сетевой или непрерывной (средовой) информационной среды данного общества.

Управленческие процессы. Управленческие процессы играют роль «кнута или пряника» в создании, распространении и абсорбции инноваций. Характер взаимодействия управленческих и инновационных процессов в значительной степени определяет интенсивность последнего. Бережное или, напротив, пренебрежительное отношение общества и государства к инноваторам, проявляющееся в принятии тех или иных управленческих решений, способно как активизировать, так и затормозить инновационный процесс.

Духовные процессы. Духовный мир субъектов, активно участвующих в процессах генерации, распространения и абсорбции инноваций, отличается принципиальной ориентацией на будущее развитие. Фактически каждая инновация представляет собой определенную модель будущего, включающую описание сложившейся ситуации, желательной ситуации и путей перехода от первой ко второй. В основе любой инновации лежит представление об общественном идеале, приближению к которому способствует данная инновация.

Поскольку инновационный процесс носит, как мы видим, многоаспектный комплексный характер и затрагивает все подразделения народного хозяйства, его изучение должно базироваться на системной парадигме с применением аппарата системной экономической теории. Такой подход имеет особое значение в период ухудшения международной обстановки, введения санкций и ограничений, активизации сил, препятствующих экономическому развитию страны. В этих условиях необходимо качественно повысить связность, непрерывность и целенаправленность экономики.

Жизненный цикл конкретной инновации складывается из следующих этапов: создание инновации; распространение инновации; описание и сохранение инновации; включение инновации в существующую технологию или организацию производства. Соответственно, инновационный процесс в целом как поток создания, распространения и закрепления инноваций может быть разделен на следующие подсистемы: генеративная инновационная подсистема, включающая такие сферы, как прикладная наука, сфера НИОКР, изобретательство, управление изменениями, венчурный бизнес; диффузионно-логистическая инновационная подсистема – интернет, социальные и промышленные сети, массовые мероприятия в сфере обмена инновационной информацией; аккумулирующая инновационная подсистема – Роспатент, научные школы, библиотеки (базы данных) научных и научно-технических публикаций, корпоративные университеты; общесистемная составляющая – Национальная инновационная система (НИС), инновационно-инвестиционный климат, абсорбционная способность субъектов по отношению к инновациям.

С позиций системной экономической теории, рассматривающей экономику в виде совокупности проектного, процессного, объектного и средового системных секторов, необходимо выделять следующие функции системных секторов в развитии инновационного процесса: проектный сектор (обеспечивает генерацию инноваций); процессный сектор (обеспечивает распространение и логику инноваций);

объектный сектор (обеспечивает отбор и укоренение успешных инноваций); средовой сектор (обеспечивает благоприятный инновационный климат). Необходимым условием устойчивого развития инновационного процесса является сбалансированность масштабов развития инновационных системных секторов. Ориентация на сбалансированность четырех системных секторов экономики (общеекономическая тетрада) служит надежной предпосылкой для сбалансированности четырех инновационных секторов экономики (инновационная тетрада), что является условием для перехода к устойчивому инновационному развитию страны.

Санкционные ограничения, введенные в последние годы против нашей страны, обостряют проблему сохранения необходимого уровня и объема инновационного процесса в стране, а также координации деятельности инновационных секторов. Все это требует активизации процессов консолидации экономики, сокращения разрывов в отраслевой и территориальной структуре экономики, повышения связности и непрерывности экономики. В этих условиях резко возрастает потребность в стратегическом планировании и регулировании экономики.

Россия, как самая большая по территории страна с богатой инновационной историей и неограниченным инновационным потенциалом населения, имеет все необходимые предпосылки для обеспечения инновационно-технологического суверенитета и потенциально инновационно-технологического лидерства.

Переход на путь устойчивого и долговременного инновационного развития требует существенной модернизации всей системы управления отечественной экономикой. Соответствующие структуры на макро-, мезо- и микроуровне должны стать объектом внимания и ключевым звеном экономической политики. Инновационно ориентированная экономическая политика должна строиться вокруг системной инновационной стратегии как составляющей многоуровневого и многоаспектного стратегического планирования социально-экономического и технико-технологического развития страны, в том числе согласования денежно-кредитной, научно-образовательной и инновационной политики.

Особая роль в этих преобразованиях должна принадлежать Российской академии наук. Необходимо обеспечить качественный рост проактивного комплексного влияния РАН на стратегические процессы на всех уровнях управления. Средством для этого является организация постоянного взаимодействия тематических и региональных отделений РАН с отраслевыми и территориальными бизнес-ассоциациями (своеобразная «инновационная корона РАН»).

ДОКТОР ЭКОНОМИЧЕСКИХ НАУК Е.Б. ЛЕНЧУК «НОВЫЕ КОНТУРЫ НАУЧНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА»

Новую повестку научно-технологического развития сегодня определяет структурная перестройка мировой экономики, которая происходит на базе широкомасштабного перехода к ключевым технологиям четвертой промышленной революции, прежде всего, цифровым. Именно в сферу разработки и освоения этих технологий смещается конкурентная борьба, которые в перспективе будут определять позиции на мировых рынках, технологическое лидерство и возможность получения сверхприбылей. Вместе с тем, в условиях обострившейся геополитической обстановки Россия столкнулась с необходимостью решать эти проблемы в условиях жестких санкционных ограничений в научно-технологической сфере, которые тормозят не только разработку и освоение перспективных ключевых технологий, но и ограничивают возможность нормального функционирования производственных систем целого ряда отраслей российской экономики.

Российский научно-технологический комплекс оказался неподготовленным к условиям жестких санкций. В докризисный период страна не смогла перейти на инновационный путь развития, обеспечить экономику собственными разработками, технологиями и оборудованием, попав в высокую технологическую зависимость от стран Запада, что в условиях внешних ограничений формирует риски перехода к «регрессивной» индустриализации – перестройки технологических линий и бизнес-процессов под производство продукции более низкого уровня сложности, попадания страны в затяжную стагнацию.

Несмотря на то, что на государственном уровне принят целый пакет мер, направленных на поддержку научно-технологического комплекса в условиях внешних ограничений, серьезных корректировок в сфере научно-технологической политики не произошло, целевые ориентиры в сфере научно-технологического развития, закрепленные в Указе Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 не скорректированы в соответствии с новой геополитической обстановкой и переходом к модели развития, нацеленной на формирование технологического суверенитета. Отставание России в сфере инвестиций в научно-технологическое развитие от развитых стран мира продолжает расти, научно-технологический потенциал сворачивается, технологическая зависимость увеличивается.

Вместе с тем, в новых геополитических условиях основным направлением выстраивания новой модели развития определено обеспечение технологического суверенитета, что закреплено в ряде документов, в том числе в принятой в мае 2023 г. Концепции технологического развития Российской Федерации до 2030 г. В Концепции под технологическим суверенитетом понимается наличие в стране (под национальным контролем) критических и сквозных техно-

логий собственных линий разработки и условий производства продукции на их основе, обеспечивающих устойчивую возможность государства и общества достигать собственные национальные цели развития и реализовывать национальные интересы.

Проблему обеспечения технологического суверенитета предстоит решать в сжатые сроки и при ограниченных ресурсах. Такая ситуация требует *системного изменения подходов к научно-технологическому развитию страны и новых подходов в формировании научно-технологической политики*. Прежде всего, речь идет о четком *целеполагании* в сфере научно-технологического развития с учетом новой геополитической обстановки.

Несмотря на то, что на государственном уровне у нас сегодня действует целый ряд стратегических и программных документов, регламентирующих основные цели и задачи научно-технологического развития России, далеко не все они были скорректированы с учетом новых условий и сохраняют разновекторность по своему характеру. Так, например, в Указе Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 основная цель научно-технологического развития определена как *«обеспечение присутствия Российской Федерации в числе десяти ведущих стран мира по объему научных исследований и разработок, в том числе за счет создания эффективной системы высшего образования»*. В то время как в Стратегии национальной безопасности Российской Федерации (далее СНБ), являющейся базовым документом стратегического планирования, цель научно-технологического развития определена как *обеспечение технологической независимости и конкурентоспособности страны*. Таким образом, в двух основополагающих документах целеполагания в научно-технологической сфере одновременно содержатся цели, направленные, с одной стороны, на обеспечение внутренней технологической независимости, а с другой – ориентированы на интеграцию в мировое сообщество, что по своей сути является взаимоисключающими процессами.

Если попытаться проанализировать и оценить степень соответствия целей и задач не только указов Президента Российской Федерации и СНБ, но и других основных действующих стратегических и программных документов в научно-технологической сфере, то многие их цели, задачи и целевые индикаторы также не увязаны с базовыми документами. Сопоставительный анализ целей и задач большинства документов свидетельствует, что обеспечение технологической независимости не прослеживается посредством нарастающей детализации от федерального целеполагания по всей вертикали к программно-плановым документам, разрабатываемым в научно-технологической сфере.

Так, в обновленной Стратегии национальной безопасности Российской Федерации обозначено, что для достижения основной цели научно-технологического развития – обеспечения технологической независимости и конкурентоспособности страны, должны быть решены 24 основные задачи. Однако лишь 2/3 из них нашли отражение в стратегиях и программно-плановых документах, реализуемых в научно-технологической сфере. Целый ряд важнейших задач по достижению технологической независимости в стратегических и программных документах отражения не нашел. Это касается таких важных вопросов,

как «выработка и реализация на федеральном, региональном, отраслевом и корпоративном уровнях согласованной политики, обеспечивающей переход российской экономики на новую технологическую основу»; «доведение уровня расходов Российской Федерации на развитие науки и технологий до уровня расходов на такие цели государств, занимающих лидирующие позиции в этой сфере». Что касается показателя расходов на науку и технологий, то в ряде документов этот показатель включен как целевой, но нигде не предусмотрено его доведение до уровня стран технологических лидеров. В таких условиях целевая установка на обеспечение технологического суверенитета может остаться лишь декларацией.

Следует отметить, что наибольшая содержательная схожесть в формулировке задач из Стратегии национальной безопасности определена в государственной программе «Научно-технологическое развитие», что позволяет судить о преемственности мер госполитики в данной области и корректной детализации целеполагания по всей вертикали документов.

Совершенствование системы целеполагания в научно-технологической сфере предполагает выстраивание четкой иерархии стратегических и программных документов в научно-технологической сфере, которые могут быть представлены следующим образом:

Прежде всего, определение целей научно-технологического развития должно базироваться на прогнозных разработках. Уместно напомнить, что последний Прогноз научно-технологического развития для Российской Федерации был разработан в 2013 г. За десятилетие ситуация серьезно изменилась, и требуется скорейшая разработка нового Прогноза.

Кроме того, до сих пор не сформирована Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу. Сегодня ее подменяют указы Президента Российской Федерации. Однако представляется чрезвычайно важным обеспечить разработку именно Стратегии, которая сформирует основное видение новой модели развития, под задачи которой будет формироваться *научно-технологический контур – организационный каркас научно-технологической деятельности, связанный с экономической системой общей целевой ориентации*, обеспечивающей создание сквозных и критических технологий, соответствующей институциональной среды для их разработки, укрепление и наращивание научно-технологического потенциала и объемов финансирования научно-технологической сферы. По сути дела, это определяет новый подход в формировании научно-технологической политики.

Выстраивание процесса целеполагания научно-технологического развития в общей системе стратегического планирования схематично можно представить следующим образом. (рис.1)

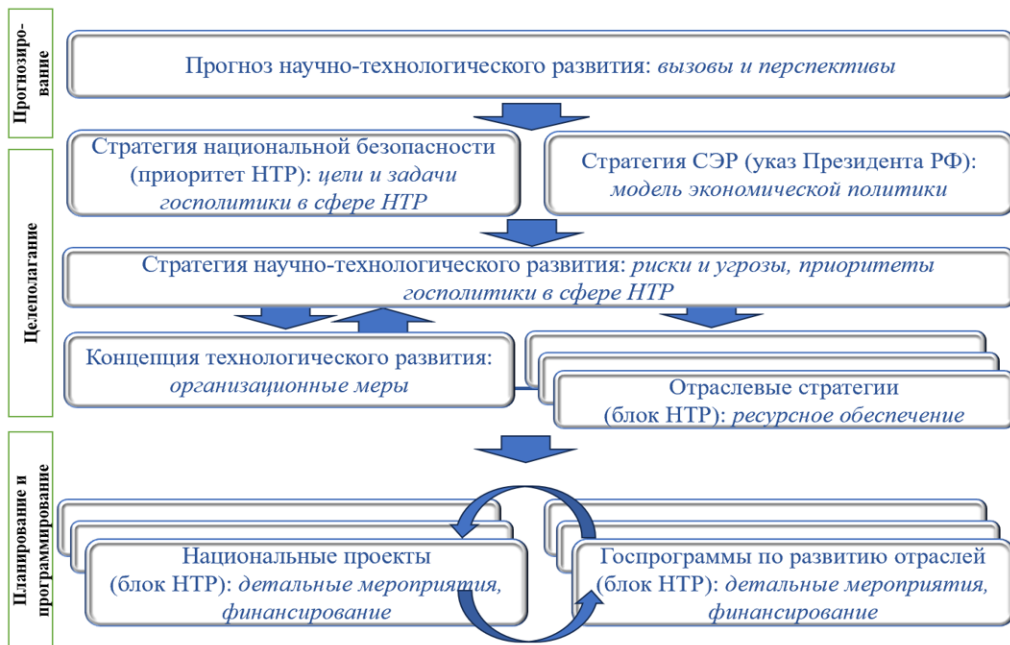


Рис. 1. Схема взаимосвязи документов стратегического планирования в сфере научно-технологического развития

Увязка целеполагания в сфере научно-технологического развития с общими задачами развития экономики страны и прежде всего ее реального сектора будет содействовать запуску экономики полного инновационного цикла, то есть обеспечение выпуска собственными силами всей номенклатуры продукции, необходимой для гарантии нормальной жизнедеятельности, суверенитета и безопасности государства, повышения качества жизни населения.

ПРОФЕССОР РАН С.А. СИНИЦЫН «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ В ФОКУСЕ ПРАВА»

Временные ограничения представления проблемы позволят сформулировать лишь некоторые из наиболее значимых идей «технологического правоцентризма», разработанных мною в связи с исследованием проблемы правового обеспечения технологического суверенитета России.

1. Технологический суверенитет – качественная характеристика уровня развития производственных отношений в национальной экономике, ориентированной на производство всех циклов конкурентноспособной высокотехнологической продукции без привлечения или по крайней мере при минимизации импорта иностранных технологий.

2. В целом правовое обеспечение технологического суверенитета предполагает формирование качественно нового правового поля, обеспечивающего точки роста разработки, внедрения и оборота передовых технологий.

Ожидаемые правовые решения могут быть реализованы только при комплексном переориентировании целеполагания всей системы законодательства, а не отдельных правовых институтов.

Требуется разработка и обсуждение концепции развития законодательства о технологическом суверенитете в России: стимулирующие меры в социальном законодательстве, специальный режим труда работников-ученых, вопросы безопасности и эффективности внедрения, использования оборота технологий, правовые формы использования технологий. Достижение поставленных задач потребует развития новых правовых институтов, а не технико-юридической систематизации законодательства о науке и технологиях (независимо от формы и вида).

3. Общей предпосылкой достижения технологического суверенитета является актуализация российского законодательства о науке и образовании, создание условий для сохранения и преумножения научно-технического кадрового потенциала страны. Речь может идти о новых формах государственной координации и управления российской наукой, обуславливающих эффективность поддержки науки, обеспечивающей технологические прорывы.

4. В российском законодательстве не сложилось обособленного регулирования НИОКР вне связи с договором подряда, а правовой режим и оборот технологий не выделен как отдельный объект гражданских прав и вид договорных обязательств. Пробельность этой сферы правового регулирования значительным образом снижает темпы открытия, внедрения и обмена новейших технологий.

5. Российское законодательство не устанавливает рискориентированных и прогнозных подходов в освоении и использовании новейших технологий, потенциально имеющих реверсное негативное воздействие и фон на экологию, биоклимат планеты. Это следует считать важным недостатком современной политики российского права.

ОТДЕЛЕНИЕ ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН

ДОКТОР ИСТОРИЧЕСКИХ НАУК Е. Ю. БАСАРГИНА «СТОЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ АКАДЕМИИ НАУК В 1826 Г.»

Академические юбилеи — это повод осмыслить пройденный путь, возможность апеллировать к государственной власти ради повышения авторитета своей корпорации и консолидации всего научного сообщества.

Первый, 50-летний юбилей был отмечен 29 декабря 1776 года, причем день собрания назначила сама императрица Екатерина II. Свой столетний юбилей Академия наук отпраздновала в начале царствования Николая I, через полгода после издания царского манифеста, извещавшего Россию о завершении суда над декабристами. Манифест 13 июля 1826 г. приписывал мятежный дух «не просвещению, но праздности ума», «пагубной роскоши полупознаний». Россия вступила в новую историческую эпоху: предстояло реформировать всю систему просвещения и вырастить образованную, лояльную к правительству элиту. Важная роль в новой парадигме отводилась Академии наук, являвшейся первым научным обществом империи.

Президентом Императорской академии наук в то время был Сергей Семёнович Уваров (1786-1855 г.). Крестник Екатерины II, любимец аристократических собраний, одаренный большим красноречием, С.С. Уваров принадлежал к той породе просвещенных чиновников, которые широко понимали свои задачи и готовы были их решать. В молодом возрасте он связал свою жизнь с Министерством народного просвещения, заняв в конце декабря 1810 года, в возрасте 24 лет, ответственную должность попечителя С.-Петербургского учебного округа. С.С. Уваров, выдающийся автодидакт своего времени, был истым поклонником университетского образования, которого сам не получил, и возглавил столичный учебный округ с намерением непременно открыть здесь университет. В начале 1819 года он осуществил свое заветное желание – создал в Петербурге университет, который достоин того, чтобы носить его имя. За год до открытия университета, в 1818 году, С.С. Уваров был назначен президентом Академии наук. Но в последние годы царствования Александра I он попал в опалу, не смог отстоять Петербургский университет от нападков мракобесов и в 1821 г. вышел в отставку с должности попечителя. Некоторое время он подвизался в Министерстве финансов, используя свое новое служебное положение во благо Академии наук, с которой был связан в течение 37 лет, несмотря на все зигзаги своей карьеры. В начале царствования Николая I С.С. Уваров получил шанс вернуться в большую политику и не преминул им воспользоваться. В мае 1826 года он поехал в Москву на коронацию нового императора и вспомнил об академическом юбилее.

С. С. Уварову предстояло назначить день торжественного собрания, и он остановился на дате публичного собрания в честь полустолетнего академического юбилея – 29 декабря. Для него было важно, что на том торжестве присутствовали родители Николая I – вел. кн. Павел Петрович и вел. кн. Мария Федоровна, еще здравствовавшая в 1826 г.

С. С. Уваров старался изо всех сил представить вверенную его заботам Академию наук в полном блеске. Спешно приводилось в порядок ее главное здание, конференц-зал, предназначенный для юбилейного заседания, был со вкусом декорирован.

29 декабря 1826 г. Академия наук приветствовала блестящее собрание августейших особ. Своим посещением ее удостоили император Николай Павлович, императрицы Александра Федоровна и Мария Федоровна, восьмилетний наследник вел. кн. Александр Николаевич. Особенно примечательным было присутствие вдовствующей императрицы, которая стала олицетворением живой связи времен и преемственности академических традиций. На торжественном заседании присутствовали также члены Государственного совета, министры, сенаторы, представители высшего духовенства, дипломатический корпус и другие знатные особы.

Устроители торжества проявили большой политический такт при выборе языка выступлений. Президент С.С. Уваров открыл заседание приветственной речью на русском языке «О развитии науки в академии за время ее существования», представив в ней историю академии как часть истории просвещенной монархии со времен Петра Великого до века Александра I. Особо он отметил заслуги русских ученых, прежде всего, М.В. Ломоносова. Исторический обзор успехов академии за первое столетие её деятельности конференц-секретарь, правнук Л. Эйлера П.Н. Фус прочитал на французском языке, являвшемся в то время международным языком науки. В своей речи он дал оценку влияния Академии наук на успехи наук в Европе и значение для культурного роста России. В конце прозвучала речь старейшего академика А.К. Шторха со словами благодарности Правительству.

По окончании чтений была представлена программа конкурсных задач и объявлен список вновь избранных почетных членов и членов-корреспондентов, русских и иностранных. Список начинался именами императора и членов царской фамилии. В числе 16 иностранных почетных членов были немецкий поэт и натуралист И.В. Гете, президент Лондонского королевского общества Г. Деви, французский физик и математик С.Д. Пуассон, английский астроном Д.Ф. Гершель, немецкий историк Б.Г. Нибур, английский экономист Т.Р. Мальтус, немецкий антрополог И.Ф. Блуменбах. Большинство русских почетных членов составляли государственные деятели во главе с Николаем I и великими князьями, Д.Н. Блудов и А.Н. Голицын, а ученых представляли два профессора Дерптского университета – В.Я. Струве и И.Ф. Эверс. Почти все избранные отечественные члены-корреспонденты были профессорами университетов.

Именитым гостям были вручены медали, посвященной столетнему юбилею первого и старейшего ученого сословия империи. Высочайшим особам поднесли золотые медали, остальным – бронзовые. Как все памятные медали, она является не только художественным памятником, но и ценным историческим источником,

обладающим своей знаковой спецификой. Выбор символов и аллегорий, как и составление легенд, воплощавших идею, происходили в тесном сотрудничестве ученых и художника. Ответственный заказ поручили лучшему медальеру Монетного двора гр. Ф.П. Толстому, будущему вице-президенту Императорской Академии художеств. На ее аверсе изображен император Николай I. На реверсе на трон восседает Афина и осеняет лавровым венком герму с изображениями Петра I и Александра I с надписью: «Основателю и хранителям». С помощью аллегорий медаль указывала на давние глубокие связи Академии наук и императорского дома. Она соединила воедино имена трех монархов: Петра I – основателя Академии наук, Александра I – охранителя ее прочного существования в конце первого столетия и Николая I – надежды нового столетия.

Императору представили последние академические издания, среди них была поэма, посвященная 100-летию юбилею АН. Ее автором был ординарный академик по греческой и римской словесности Федор Богданович Грефе (Христиан Фридрих, Christian Friedrich Graefe, 1780–1851). Своей широкой известностью в столичных кругах он был обязан в первую очередь покровительству С.С. Уварова, которого в течение 15 лет наставлял в древнегреческом языке. Став президентом, С.С. Уваров позаботился о том, чтобы его ученый друг стал академиком.

Ф.Б. Грефе был мастером филологической критики, обладал сильным поэтическим чутьем и был искусным сочинителем стихов на древнегреческом и латинском языках. К столетнему юбилею Академии наук он написал большую поэму на древнегреческом языке “ΤΗΙ ΚΑΙΣΑΡΕΙΑΙ ΠΕΡΙ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΙ ΕΝ ΠΕΤΡΟΥ ΠΟΛΕΙ ΤΗΝ ΕΚΑΤΟΝΤΟΥΤΙΝ ΕΑΥΤΗΣ ΠΑΝΗΓΥΡΙΝ ΤΟ ΠΡΩΤΟΝ ΑΓΟΥΣΗ ΚΘ ΤΟΥ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ ΗΙ ΤΟΥ ΑΩΚΣ ΕΤΟΥΣ” объемом более 400 стихов. Поэма была написана элегическим дистихом и сопровождалась авторским переводом на немецкий язык – “Der Kaiserischen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg bei ihrer ersten Säkular Feier den XXIX Dezember MDCCCXXVI”.

К 300-летию С.-Петербургский филиал Архива РАН подготовил перевод поэмы Ф.Б. Грефе на русский язык. Размером подлинника поэму перевела академический археолог и поэт Нина Владимировна Головачёва.

В прологе Ф.Б. Грефе воспевает Петербург и с восхищением пишет об основании Петром I Академии наук.

«Быть Академии здесь — такова МОЯ ЦАРСКАЯ воля!

Но не случилось ЕМУ это свершить самому.

ЦАРЬ, по воле судеб, слишком рано был взят небесами,

Правда, СУПРУГА ЕГО мужа достойной была:

Храм науки ОНА для России сумела построить.

Так Академия здесь, в бывшем болотном краю

Волей великой ЦАРЕЙ появилась во славу науки».

Следуя традициям панегирической поэзии, Ф.Б. Грефе прославляет членов императорской фамилии, покровительству которых Академия наук была обязана

своим благоденствием. Наравне с Петром, Екатериной и Александром поэт возносит похвалы президенту Академии и своему патрону С.С. Уварову:

«Век существует уже Академия – мать всем наукам.
В новом уборе теперь и в новом доме она.
Рад явлению ее и САМОДЕРЖЕЦ Российский,
Ибо сокровищ полна эта обитель наук.
Рад будь, Сергей, и ты – президент Академии славной
В этот торжественный день – ты ведь достоин его».

С восхищением описывает Ф.Б. Грефе Академию наук и сокровища академических музеев. Вначале он описывает мемориальные предметы кабинета Петра Великого: восковую персону императора, его личные вещи, трофеи и инструменты. Далее он описывает палеонтологическую коллекцию и мамонта – украшение Зоологического музея. Поэт восхищается сокровищами Египетского музея, открытие которого в 1825 году вызвало большой интерес в просвещенном петербургском обществе. Ф.Б. Грефе перечисляет ценные экспонаты вверенного его заботам Минцкабинета и обращает внимание на «новое поступление» – медаль, посвященную столетию Академии наук:

«Пред портретом лежит золотая медаль-посвященье,
От Академии знак тем, кто ее опекал.
ПЕТР основал этот храм, АЛЕКСАНДР продолжал ЕГО дело.
Первый в начале стоял славного века его.
Ну, а второй завершил вековую историю храма.
И Академия, вот, третьего просит ЦАРЯ:
Будь, ГОСУДАРЬ, для нее покровителем в новом столетье!
Все наших предков дары волей СВОЕЙ преумножь».

Юбилей 1826 года имел значение своего рода рекламной акции и послужил активной пропаганде работ Академии наук и повышению интереса образованных людей к ее делам. Торжества стали важной вехой в истории Академии наук, которая была представлена как часть истории просвещенной монархии. С этого времени торжественные собрания Академии наук, проводившиеся ежегодно 29 декабря, стали обязательной формой публичности. Юбилей послужил толчком к ее реформе и увеличению бюджетных средств, а для самого С.С. Уварова стал поворотным моментом в карьере. Он обратил на себя внимание императора и вскоре занял должность министра народного просвещения.

Впоследствии празднование юбилеев Академии наук стало стойкой корпоративной традицией. 29 декабря 1876 года Академия наук справила свое 150-летие. В советское время в 1925 году отмечалось 200-летие начала ее деятельности и торжественного открытия в конце 1725 года. Позже полувековая периодичность была нарушена: в 1945 году к окончанию войны были приурочены торжества в связи с 220-летием Академии наук. Участники торжества присутствовали на параде Победы. 250-летие АН СССР стало всенародным праздником советской науки.

В 1999 году праздновалось 275-летие Российской Академии наук. В дни торжеств вышел Указ Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина, гласивший: «Установить День российской науки и отмечать его 8 февраля». Дата праздника имеет символическое значение. 28 января / 8 февраля по новому стилю 1724 г. – день, когда из Сената был объявлен именной указ Петра Великого об учреждении Академии и о назначении ей содержания. Указ гласил: «Его Императорское Величество указал учинить Академию...».

В год своего 300-летия Академия наук воздаст должное Петру Великому, которому принадлежала мысль о высшем научном учреждении в России.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Ю.М. БАТУРИН «ИСКАНИЯ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ ПРИРОДНОГО КОНТИНУУМА ФИЗИЧЕСКОГО И ДУХОВНОГО МИРОВ»

История – наука о прошлом мира людей, которая стремится понять причинно-следственные связи рациональных и иррациональных решений, событий и даже чувств и эмоций в уходящем от настоящего времени. Но мы упрощаем Историю, «сводя исторические явления к причинам и следствиям, придаем исторической жизни вид отчетливого, разумно-сознательного планомерного процесса, забывая, что в ней участвуют две силы, которым чужды эти логические определения – общество и внешняя природа», – совершенно справедливо заметил В.О. Ключевский¹ (1841-1911 гг.). При этом обе силы не являются независимыми параметрами. Выдающийся физик, Нобелевский лауреат Макс Борн (1882-1970 гг.) подчеркивает: «Мы, люди являемся частью природы и подчинены ее законам»².

Если постараться исправить недочет, на который обратил внимание В.О. Ключевский, История, чтобы стать более аргументированной и объяснимой, должна описываться на профессиональных языках, принадлежащих двум существенно отличающимся классам. Первый из них – языки гуманитарных наук, отображающие социум (языки собственно истории, а также социологии, философии, психологии, юриспруденции и др.). Это сложные языки, поскольку они должны не только называть даты, события, факты, но и характеризовать мысли, идеи, чувства, ощущения, эмоции их сопровождающие. («Выраженные чувства, – пишет И. Рау, – красноречиво характеризуют историческую эпоху, социально значимую мотивацию действий живших тогда людей. Прошлое включает в себя и чувства, эмоции и страсти, владевшие людьми прошлого»³). Однако у них есть серьезный недостаток: отсутствие общей меры, характерной для второго класса языков, отображающих природные закономерности и влияний. Именно Природа, подчиняющаяся своим законам, «делает исторический процесс похожим на движение щепки, брошенной в волнообразно текущий поток: разве здесь есть место для причинной связи и можно ли признать причиной движения щепки ту волну, на хребте которой мы ее видим в данное мгновение и которая сейчас же исчезнет, сменясь другою, сейчас же возникшей?»⁴ Физико-математический язык, объясняющий такую турбулентность, непривычен для историков и не используется ими. Но ошибочно думать, что стоит ввести на исторических факультетах курсы математики и физики, и дело наладится – историки, следуя подсказке В.О. Ключевско-

¹Ключевский В.О. Дневник. 1903 г., 25 февраля. – В кн.: Ключевский В.О. Избранное, с.635.

²Борн М. Моя жизнь и взгляды. – М.: Едиториал УРСС, 2004, с.74.

³Рау И. О чувствах и эмоциях как предмете истории, философии и истории культурологии: очерк комплексной проблемы. – Современная научная мысль, 2015, № 4, с.109-110.

⁴Ключевский В.О. Дневник. 1903 г., 25 февраля, с.635.

го, научатся более адекватно повествовать историю. Язык точных наук обладает другим недостатком: рассматривая действующее лицо истории – человека – как твердое тело («щепку» по В.О. Ключевскому), материальную точку или элемент математического множества, он не наделяет этот элемент разумом, мыслью, волей, чувствами и ощущениями. «Умеренно удовлетворительная картина мира была достигнута высокой ценой: за счет удаления нас с картины и занятия позиции стороннего наблюдателя, – пишет Э. Шредингер (1887-1961 гг.) – великий физик, и тоже лауреат Нобелевской премии. – Материальный мир построен исключительно ценой изъятия из него себя, то есть разума, удаления его»¹. Таким образом, естественнонаучная картина мира не содержит чувств, ощущений. Они систематически и последовательно удаляются из нее учеными. Э. Шредингер констатировал: «а) что все научное знание основано на чувственном восприятии; б) что тем не менее у полученных таким образом научных представлений о естественных процессах отсутствуют все чувственные качества и потому научные представления не могут отражать их»².

Можно ли построить научную картину мира, учитывающую как законы Природы, так и разум, и чувства? Казалось бы, стоит привести в историческую науку физические представления, и хотя бы для нее, проблема решена. Но трудности здесь только начинаются. И главное препятствие – неясность, как сопрягаются духовный и физический миры, в которых и творится История. Вспомним точное замечание М. Борна (1882-1970 гг.): «Даже такая точная наука, как физика, была вынуждена использовать взаимно дополняющие (комплементарные) описания, которые дают верный образ мира только в том случае, если они сочетаются»³. Итак, нужно понять, как сочетается духовный мир человека с физическим миром Природы.

Все точки физического (вещественного) пространства – однородны (равноправны), а духовное пространство, напротив, неоднородно, потому что мысли, идеи, чувства, эмоции неравноправны, их невозможно заменить одну на другую. Физическое евклидово пространство, в котором разворачивается История, непрерывно. Иницирующие же исторические события самых разных масштабов – от глобальных до личных – мысли, идеи, чувства эмоции прерывны, скачкообразны. Таким образом, историки (впрочем, не только они) оказываются в ситуации, когда и хорошо бы найти язык описания, работающий как в физическом, так и духовном мирах, но существует ли универсальный язык (языки), учитывая, что указываемые пространства сопрягаемы далеко неочевидным образом? Следовательно, проблему можно переформулировать в более общем виде, включив в нее не только историю, но и другие гуманитарные науки: найдется ли природный континуум, непротиворечивым образом объединяющий физический и духовный миры.

О разнице этих пространств задумывался В.И. Вернадский (1863-1945 гг.): «Нигде в пределах косных естественных тел и явлений биосферы мы не выходим

¹Шредингер Э. Разум и материя. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000, с. 39-40.

²Там же, с. 95.

³Борн М., указ. раб., с. 74.

теперь из области геометрии евклидовой»¹. Но затем В.И. Вернадский уточняет: «Как только мы подходим к живым естественным телам, мы встречаемся с таким коренным изменением геометрических явлений, которые, мне кажется, не укладываются в рамки евклидовых геометрий любого измерения»². Но о каких геометриях идет речь? И В.И. Вернадский в 1938 году выдвигает весьма нетривиальную гипотезу: «По-видимому, мы имеем дело внутри организмов с пространством, не отвечающим пространству Евклида, а отвечающей одной из форм пространства Римана... Мы сейчас имеем право допускать в пространстве, в котором мы живем, проявление геометрических свойств, отвечающих всем трем формам геометрии – Евклида, Лобачевского и Римана». И сразу же, в сноске к этой мысли, он расширяет возможное множество геометрий: «Математическая мысль давно признала одинаковую допустимость в окружающей нас реальности исканий проявлений неевклидовых геометрий... Дело идет о геометрической разнородности пространства в нашей реальности. Пространство жизни иное, чем пространство косной материи»⁴. Вскоре В.И. Вернадский подошел к еще одному своему замечательному предвидению: «В анатомической структуре аппарата мысли – мозга»⁵ – внимание! – «должны наблюдаться процессы, нам пока неизвестные, перехода... физического состояния пространства с одной геометрической структурой в пространство с другой»⁶.

Мозг формирует пространство восприятия окружающего мира, в котором не все так, как в реальном мире (например, рельсы на горизонте сходятся, хотя в действительности они всегда параллельны). В 1947 году, буквально через 9 лет после удивительной догадки В.И. Вернадского о римановом характере рассматриваемых пространств Р.К. Лунбург (1903-1949 гг.) показал, что по своим свойствам пространство восприятия оказывается пространством Римана⁷. Еще через четверть века академик Б.В. Раушенбах доказал, что пространство восприятия не просто риманово, но пространство Римана переменной кривизны⁸. То есть гипотеза В.И. Вернадского полностью подтвердилась, но он пошел дальше.

В.И. Вернадский не только предчувствует, но и как ученый понимает, что вскоре математика уйдет вперед, и при этом не подозревает, насколько близко он находится от важных открытий в этой области знаний. Развитие математических идей он отслеживал косвенно, через формальный аппарат новых физических теорий. Необычная абстрактная конструкция, изобретенная немецким математиком Куртом Гензелем (1861-1941 гг.) в 1897 г. и теорема, доказанная в 1916 г. его учеником А.М. Островским (1893-1986 гг.), нашли применение в квантовой физике

¹Вернадский В.И. О состояниях пространства в геологических явлениях Земли на фоне роста науки XX столетия. – Вернадский В.И. Собр. Соч. в 24 тт. Том десятый. Научная мысль как планетное явление. /Под ред. акад. Э.И. Галимова – М.: «Наука», 2013. Том 10, с. 439.

²Там же.

³Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. Том 10, с. 16.

⁴Там же.

⁵Там же, с. 42.

⁶Там же, с. 55.

⁷Lunenburg R.K. Mathematical analysis of binocular visions. Princeton: Princeton University Press, 1947. – 104 P.

⁸Раушенбах Б.В. Пространственные построения в древнерусской живописи.– М.: «Наука», 1975, с. 157-162.

только в 1980-х гг., а тогда, к сожалению, прошли мимо внимания В.И. Вернадского, хотя его научный уровень был вполне достаточен, чтобы увидеть насколько структура и особенности p -адических чисел сочетается с его идеями.

Если евклидово пространство нашего мира имеет определенное сходство с формируемым мозгом пространством восприятия (однородность, непрерывность, связность и т.д.), которое достаточно адекватно отображает реальный мир, хотя и несколько искажает его, то природа пространства мышления совершенно иная. Мысль прерывна, скачкообразна, ассоциативна, иерархична, следовательно, ментальное пространство не только неевклидово, но даже не риманово. Для описания движения мысли используют p -адические пространства, описываемые системой введенных Куртом Гензелем p -адических чисел (p – от немецкого слова Primzahl, означающего простое число). Он понял, что если рациональные числа (дроби), с помощью модульной арифметики выразить через степени простого числа, то получается совершенно иной мир чисел, в котором каждая система p -адических чисел буквально вырастает, как дерево: на основе каждого простого числа p выстраивается своя p -адическая модель. В самом деле, p -адические числа похожи на ветви и веточки дерева, растущего из некоторой точки числовой оси, причем их настолько много, что для любой точки на числовой оси можно найти соответствующую величину на древовидной структуре. Но почему именно p -адические числа? Согласно знаменитому утверждению в теории чисел – теореме Островского – существуют два и только два естественных континуума – однородный вещественный и иерархический p -адический (иначе говоря, рациональные числа можно пополнить до непрерывного множества только двумя способами – либо через действительные числа, либо p -адические). Если первый используется физиками для описания реального (материального) мира, то второй весьма удобен для описания пространства мышления. Даже интуитивно его геометрия трудно представима¹.

Мы, наконец, подходим к ответу на вопрос: существует ли универсальный язык описания физического и духовного миров. Да, существует. Целостное описание можно выполнить в адельных пространствах, построенных уже не на p -адике, а на абстрактной конструкции чисел, названных математиками красивым именем «адель». Мир представляет собой адельный объект, одно из свойств которого состоит в том, что адельная координата содержит в себе и вещественную, и все p -адические координаты. Математик Ю.И. Манин (1937-2023 гг.) уверен: «На фундаментальном уровне наш мир не является ни вещественным, ни p -адическим: он адельный. По каким-то причинам, связанным с физической природой нашей разновидности живой материи (возможно, с тем, что мы состоим из массивных частиц), мы обычно проецируем адельную картину в вещественную сторону. С тем же успехом мы могли бы духовно проецировать ее в неархимедову сторону и вычислять наиболее важные вещи арифметически. «Вещественная» и «арифметическая» картины мира находятся в отношении дополнительности, напомина-

¹Хренников А.Ю. Моделирование процессов мышления в p -адических системах координат. – М.: Физматлит, 2004. – 296 С.

ющем отношении между сопряженными наблюдаемыми в квантовой механике»¹. Эту мысль он сформулировал в 1987 г., выступая с докладом на международной Летней школе по конформной инвариантности и струнной теории в румынском курортном городке Пояна Брашов в Карпатах.

Итак, проблема, 120 лет назад озаботившая В.О. Ключевского, на сегодняшний день решена лишь в принципе (по необъяснимым причинам ключевую роль в поисках природного континуума физического и духовного миров играли российские ученые). Теперь понятно, что движение Истории, как бурлящего потока, создаваемого людьми – элементами множества «щепочек», обладающих волей, разумом, мыслями и идеями а также чувствами и ощущениями, равно как и эмоциями, когда-нибудь удастся описать на языке адекватных построений, но остается задача обратного, обогащенного перевода – с адекватного языка на исторический. Такова сложная и увлекательная наука – История.

¹Манин Ю.И. Математика как метафора. – М.: МЦНМО, 2008, с.214.

**ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН И.В. ПОБЕРЕЖНИКОВ,
ДОКТОР ИСТОРИЧЕСКИХ НАУК Е.Т. АРТЕМОВ**
**«НАУКА, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО
В СОВЕТСКОЙ МОДЕЛИ
ПОЗДНЕИНДУСТРИАЛЬНОЙ
МОДЕРНИЗАЦИИ»**

Модернизационный подход, функциональность которого обусловлена сфокусированностью на изучение реальных, вполне фиксируемых, макропроцессов (индустриализации, урбанизации, профессионализации и т.д.), является одним из наиболее востребованных при объяснении истории России в XX в. В рамках данного подхода советский проект трактуется как один из путей модернизации, который связывается с индустриализацией страны, ростом доли рабочих в социальной структуре, ростом городского населения, заменой сословного принципа принципом классовых отношений, секуляризацией образования, распространением грамотности, ростом участия женщин в общественной жизни и производстве и т.д. При этом признается, что на советском этапе продолжают действовать механизмы, общие для модернизации, такие как структурно-функциональная дифференциация, то есть по сути нарастание специализации и разделения труда в социетальном масштабе (дифференциации функций и структур); индустриализация и научно-технологический прогресс как цели, определяющие силовой потенциал страны в мировом соревновании; трансфер технологий, их усвоение и адаптация.

В советской модели модернизации ключевая роль отводилась внедрению научно-технических достижений в производство. Считалось, что только на этой основе можно обеспечить устойчиво высокие темпы экономического роста, «догнать и перегнать» развитые страны по подушевому уровню национального дохода. Было и понимание важности обладания техническим суверенитетом. Тогда это называли технико-экономической независимостью. Ее достижение рассматривалось в качестве необходимого уровня удовлетворения инновационных потребностей экономики и запросов вооруженных сил в современной технике. Как утверждал И.В. Сталин в своем программном выступлении в феврале 1946 г., это позволит гарантировать страну «от всяких неожиданностей». Принципиальная установка на опережающее наращивание научно-технического потенциала и максимальное использование его возможностей сохраняла актуальность на протяжении всей советской эпохи.

Разумеется, конкретные приоритеты научно-технической политики менялось со временем. Схематично, можно выделить в ней три основных этапа. В годы предвоенных пятилеток приоритет отдавался «освоению новейших достижений мировой науки и техники, переносу этого опыта в народное хозяйство страны». Поэтому главное внимание уделялось прикладному сектору науки, призванному обеспечить научно-техническое сопровождение производства.

В первое послевоенное десятилетие приоритеты изменились. Значимость использования зарубежного научно-технического опыта не отрицалась, но все же

главные усилия были направлены на развитие собственных возможностей. Именно в тот период были заложены основы собственной инновационной системы. В ряде отраслей промышленности начал формироваться единый научно-технический и производственный цикл, отправной стадией которого являлись фундаментальные исследования. Наиболее показательны – создание ядерного оружия, ракетно-космической и вычислительной техники, радиоэлектронного вооружения.

Третий этап охватывает время начиная с «хрущевского десятилетия» вплоть до конца «советского века». Его отличительной особенностью являлась установка на опережающее развитие исследований «по всему фронту современной науки» и создание действенных инновационных механизмов во всех отраслях производства. В 1970-е годы Советский Союз по доле затрат на научно-техническую деятельность в валовом внутреннем продукте уже опережал все страны за исключением США. А по абсолютным затратам на НИОКР (в переводе в доллары США по паритету покупательной способности) ненамного уступал всей Западной Европе.

В то же время обозначилось снижение отдачи от соответствующих вложений. По имеющимся оценкам, эффективность затрат на науку, рассчитанная как отношение прироста выпуска наукоемкой продукции к расходам на НИОКР, в период 1971–1985 гг., устойчиво снижалось в среднем на 13–15% за пятилетку. В первую очередь, это объяснялось изъянами действовавшей экономической системы, порождавшей затянутость цикла «исследование – производство», и не стимулировало спрос на достижения науки. Замедление инновационной активности вело к ухудшению качественных параметров развития экономики и, в конечном счете, к падению темпов ее роста.

В истории советской модернизации немало примеров успешного решения масштабных задач. Достаточно назвать создание ядерно-оружейного комплекса, ракетно-космической отрасли, перевод железнодорожного транспорта на электрическую и тепловозную тягу и т.д. Что касается атомного проекта, то эта проблема возникла ситуативно; для ее решения устанавливался особый порядок работы. Главная цель советского атомного проекта заключалась в ликвидации монополии Соединенных Штатов Америки на ядерное оружие, которая после Хиросимы и Нагасаки стала восприниматься как прямая угроза самому существованию Советского Союза. Так у страны появилась «задача номер один», как атомный проект стали называть даже в официальных документах.

Общую картину в данной области представляли лишь И.В. Сталин и возглавлявший работы по созданию ядерного оружия Л.П. Берия, а также несколько человек из числа главных администраторов и научных лидеров проекта. Все остальные партийно-правительственные «иерархи», руководители министерств и ведомств, выполнявшие в атомном проекте отдельные задания, не участвовали ни в определении стратегических направлений его реализации, ни в разработке текущих управленческих решений. Такой порядок планирования и организации работы открыл беспрецедентные возможности для мобилизации ресурсов в «обход» всех принятых планов «восстановления и развития народного хозяйства». Заявки атомного проекта на финансовые и материальные ресурсы удовлетворялись «независимо от степени обеспечения... других нужд». Кадровая проблема основного производства решалась путем отбора и мобилизации «лучших работников» страны. Чтобы эта

система работала, была создана «управленческая вертикаль», подчиненная непосредственно И.В. Сталину. На ее вершине находился Специальный комитет при Совете Министров СССР во главе с Л.П. Берией. Как директивный орган, он получил право в пределах своей компетенции давать поручения любым подразделениям государственной и партийной власти. Его исполнительные органы – Первое (ПГУ), а затем и Второе (ВГУ) главные управления при Совмине СССР – формулировали конкретные задания многочисленным участникам атомного проекта. Их своевременное и качественное выполнение жестко контролировали так называемые уполномоченные Совета Министров СССР. Так управленческие и надзорные функции в атомном проекте оказались сосредоточены в одних руках, чего в советской практике хозяйствования ни прежде, ни позже не наблюдалось. Это позволяло Спецкомитету добиваться выполнения своих решений, игнорируя позицию отраслевых министерств, да и любых других властных инстанций.

Специфическую роль в атомном проекте играло годовое и пятилетнее планирование. Его показатели, утверждаемые Спецкомитетом, ни с кем не согласовывались. Необходимые для их достижения финансовые и материальные ресурсы детально даже не просчитывались. Планы работы, по существу, являлись внутренними «декларациями о намерениях». Но контрольные цифры выпуска «конечной продукции» – ядерных боезарядов – пересмотру не подлежали. Они устанавливались на грани технических возможностей. Тем не менее, каких-либо значимых отклонений от утвержденных параметров не наблюдалось. Так, пятилетним планом развития атомной промышленности на 1950–1954 гг. было предусмотрено изготовление «153 готовых изделий из плутония». Фактически удалось произвести 150 боезарядов. И это было впечатляющее совпадение планов и результатов.

Практика, принятая в атомном проекте, вызывала определенную напряженность в управленческой вертикали. Однако жесткая централизация власти позволяла легко блокировать проявления недовольства. К тому же большинство высших руководителей признавало необходимость чрезвычайных мер. Они понимали, что масштаб и сложность задачи создания ядерного оружия превышают адаптивные возможности стандартных методов управления и планирования. Вместе с тем в «руководящих кругах» осознали, что такая модель организации работы не подлежит тиражированию. Было ясно, что страна не может выдержать расширения числа «специальных» секторов производства, использующих ресурсы «по потребности». Поэтому даже программа создания ракетно-космической техники не получила таких полномочий, какими располагал атомный проект, а с окончанием сталинской эпохи и он был постепенно переведен на стандартные для советской экономики принципы планирования, организации и мотивации работы. Начало этому процессу положила ликвидация Спецкомитета. Для оперативного управления атомной отраслью создали Министерство среднего машиностроения. Однако ослабление централизованного начала в управлении экономикой привело к утрате должного контроля за его деятельностью. Фактически оно получило возможность беспрепятственно наращивать выпуск «готовой» продукции, пренебрегая критерием необходимости и достаточности. В 1986 году СССР уже обладал 45 тыс. ядерных боезарядов. Это было в 2 раза больше, чем имели США. Очевидно, что

для создания такого ядерного арсенала потребовались огромные затраты, которые легли непосильным бременем на экономику.

По имеющимся оценкам, в Советском Союзе в 1950–1980 гг. на НИОКР оборонного профиля приходилось от 50% до 80% общих затрат на научно-техническую деятельность. Естественно, возникала проблема передачи наработанных в нем технологий и технологических решений в «гражданские» отрасли производства. Необходимость ее решения хорошо осознавалась руководством страны.

Но результативность соответствующих мер была различной. Успешно, между прочим, переток научно-технических достижений из «оборонки» в гражданскую сферу осуществлялся в 1950-е гг. Можно привести ряд примеров организации подобного трансфера, имевшего далеко идущие последствия. Так, в мае 1950 года Специальный комитет при Совмине СССР (руководящий орган атомного проекта) принял решение о широком использовании научно-технического задела, накопленного при разработке ядерного оружия. В частности, оно предусматривало создание ядерно-энергетических установок для электро- и теплогенерирующих станций и транспортных средств. В итоге уже в 1954 году вошла в строй первая в мире атомная электростанция (Обнинская) с реактором, который первоначально разрабатывался для атомных подводных лодок. С этой даты начался отсчет истории атомной энергетики. А в 1959 году ввели в эксплуатацию атомный ледокол «Ленин». Это было первое в мире надводное судно с атомной энергосиловой установкой.

Плодотворным оказалось использование военно-технических достижений для развития гражданской авиации. Так в июле 1955 года свой первый полет совершил реактивный пассажирский самолет Ту-104, созданный на базе бомбардировщика ТУ-16. А в следующем году начались его регулярные рейсы.

В ракетной отрасли попытки использования создаваемой техники в «мирных целях» предпринимались с начала ее формирования. Уже первые образцы баллистических ракет были «приспособлены» для метеорологических исследований. Успехи в конструировании управляемой баллистической ракеты межконтинентальной дальности позволили принять решение о создании искусственного спутника Земли, который был выведен на орбиту в октябре 1957 года.

Это заложило основы широкого применения космической техники в народно-хозяйственных и научных целях: изучение ионосферы, космического излучения, составление карт, поиск месторождений полезных ископаемых, развитие средств связи, телевидения и т.д.

Были и успехи в «мирном использовании» вычислительной техники, первоначально разрабатывавшейся в интересах атомного проекта и ракетной программы.

Важным условием осуществления трансфера военно-технических достижений в гражданскую сферу являлось наличие жесткой управленческой вертикали, позволявшей успешно преодолевать ведомственные барьеры. Однако по мере трансформации «командной экономики» в «экономику согласований и бюрократического торга», ее возможности снижались. И это накладывало серьезные ограничения на внедрение в производство самых передовых технологий.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН И.Ф. ПОПОВА «РОССИЙСКОЕ ВОСТОКОВЕДЕНИЕ. ГОСУДАРСТВЕННАЯ МИССИЯ»

В многонациональной, поликонфессиональной России востоковедение всегда было и остается не просто наукой, но и важным средством самопознания, составной частью собственной российской культуры и крупным общественно-значимым фактором государственной жизни.

В первые десятилетия XXI в. в нашей стране наблюдается значительное увеличение числа центров, предоставляющих обществу знания о Востоке. Мир становится все более информационно открытым, экономические успехи государств Азии дают импульс широкому изучению их культуры и языков. Аналитические востоковедные исследования в сфере политики, образования, культуры, бизнеса, туризма проводятся многими государственными, коммерческими и некоммерческими организациями – для разной аудитории, с разными целями. В этих условиях перед академическим востоковедением стоит непростая задача – убедить общество в том, что актуальные процессы, формирующие современную действительность, глубочайшим образом связаны с историей и вековой традицией. Востоковедение направлено на постижение тысячелетнего «культурного кода», не только восточных народов, но и самой России, оно актуально тем, что дает материал для осмысления будущего и определения перспектив исторического развития.

Из российского академического востоковедения вышли многие востоковедные школы, продолжающих свое существование на евразийском пространстве. Таким образом, отечественное востоковедение хранит и функцию культурного интегрирующего фактора евразийской цивилизации.

На протяжении столетий главный вектор российской геополитики и государственности был направлен на Восток. Российское востоковедение зародилось, стало частью внутренней и внешней политики страны при Петре Великом и неотъемлемо от его реформаторской деятельности. Петра I можно считать основоположником научного изучения географии, истории, культуры народов, проживавших на восточных территориях Империи. Значительную роль в развитии востоковедения сыграли организованные Петром миссии и экспедиции в Китай (1692 г., 1724 г.), Персию и Бухару (1718-1725 гг.), Сибирь (1718 г.), на Камчатку и Курильские острова (1710 г., 1713 г., 1719 г.), Кавказ (1717 г.), на берега Амударьи и Каспийского моря. Составленные по итогам этих экспедиций донесения, отчеты, описания стали первыми пробными работами по изучению Востока.

Соратником Петра I, его консультантом по Востоку был князь Дмитрий Кантемир (1673-1723 гг.), знаток арабского, персидского, турецкого языков и источников по Турции. Во время Персидского похода (1722-1723 гг.) он организовал издание петровских манифестов на местных языках. Им же были подготовлены оригинальные труды по истории Турции.

Для сохранения собранных материалов в 1714 г. Петр I основал Кунсткамеру и Библиотеку. Создание в Петербурге в 1724 году Академии наук, любимого детища

Петра I, было высшим достижением его реформаторской деятельности в области духовного развития страны. Среди первых академиков «петровского призыва» был историк и филолог Готлиб Зигфрид Байер (1694-1738 гг.), опубликовавший в 1730 году фундаментальный труд «*Museum Sinicum*», первую в России востоковедную монографию.

Екатерина II продолжила политику Петра I по освоению и расширению территорий России. С принятием Крыма «под Российскую державу» в составе Империи оказалось значительное по численности мусульманское население, и государство приняло курс на покровительство исламу. В Петербурге для раздачи верующим печатается Коран на арабском языке, для чего специально отливают арабский шрифт на основе почерка одного из крупных мусульманских каллиграфов.

В царствование Екатерины II знание о Востоке становится частью общественного сознания. Как и во всей Европе, в России читающая публика проявляет интерес к истории, философии и методам управления Китая. Екатерина особым указом повелевает перевести Уголовное уложение Цинов. Китайские образы и реалии проявляются в произведениях Г.Р. Державина, Д.И. Фонвизина, Н.И. Новикова, А.Н. Радищева. В периодических изданиях русских просветителей публикуются многочисленные переводы и переводы-переложения китайской классики, в архитектуре и искусстве процветает стиль *шинуазри* (*chinoiserie*).

Формально в Академии наук второй половины XVIII в. не было академика-востоковеда, но научное сообщество ощущало необходимость развития фундаментальных востоковедных исследований. Это отразилось в проектах «Ориентальной академии» М.В. Ломоносова, а также «Академии или Общества наук и языков восточных» Георгия Якоба Кера (Georg Jacob Kehr, 1692-1740 гг.).

Начальный период деятельности Азиатского Музея Академии наук, у истоков которого стояли С.С. Уваров (1786-1855 гг.) и Х.Д. Френ (1782-1851 гг.), стал *первым «золотым»* периодом в истории российского востоковедения. В это время происходит институционализация и востоковедной, и всей гуманитарной российской науки, наблюдается становление самостоятельной школы отечественного востоковедения, которое выходит на один уровень с европейским.

23 (11) ноября 1818 года президент Императорской Санкт-Петербургской Академии наук (1818-1855 гг.), министр народного просвещения (1833-1849 гг.) Сергей Семенович Уваров обратился в Комитет Правления Академии с письмом «о необходимости устроить при Кунсткамере Академии особое отделение для медалей, рукописей и книг восточных». Директором Азиатского Музея он предлагал назначить Христиана Даниловича Френа (Christian Martin Joachim Frähn) (1782-1851 гг.), в котором видел человека, способного организовать первое в России специализированное востоковедное учреждение. Представитель западной школы ориенталистики, воспитанник Ростокского университета, арабист, нумизмат Х.Д. Френ с 1807 г. десять лет служил в восточной провинции России, замещая кафедру восточных языков в Казанском университете. Здесь он имел возможность познакомиться и впитать в свой научный менталитет традицию местной гуманитарной науки. Сочетание рациональной западной и духовной восточной традиций определило содержание и специфику российского востоковедения на годы вперед.

С.С. Уваров добился выделения из казны значительной суммы на приобретение 700 уникальных арабографичных рукописей от Жана-Батиста Руссо (Jean-Baptiste-Louis-Jacques Rousseau) (1780-1831 гг.), французского консула в Алеппо и родственника великого философа. Покупка коллекции Руссо сразу же поставила Азиатский Музей в ряд важнейших европейских хранилищ восточных рукописей. Работа с этим собранием дала импульс развитию арабистики и в целом востоковедения в России.

В середине XIX в. решение насущных задач российской внутренней и внешней политики потребовало подготовки большого количества востоковедов-практиков. 22 октября (3 ноября) 1855 году указом Николая I в Петербургском университете был создан Факультет восточных языков (ныне – Восточный факультет СПбГУ), собравший в числе преподавателей весь «цвет» русского востоковедения того времени. Подготовка реформы российского университетского востоковедения началась в ходе преобразований Александра I, когда в 1804 году был издан первый общий устав российских университетов. Помимо университетов «западных окраин» Российской Империи (Вильна, Дерпт, Гельсингфорс) систематическое преподавание востоковедных дисциплин распространялось на Московский и вновь созданные Харьковский и Казанский университеты. При этом не везде преподавание на кафедрах восточных языков сразу же стало ровным и непрерывным. Наиболее авторитетная школа университетского востоковедения сложилась в Казани, и первым деканом Факультета восточных языков Петербургского университета, энтузиастом преподавания живых языков стал выдающийся воспитанник именно казанской школы востоковедения А.К. Казем-Бек (Мирза Казым-Бек) (1802-1870 гг.).

В середине XIX в. Россия, значительно расширившая свое влияние на Дальнем Востоке и Тихом океане, начала осознавать подлинное геополитическое значение внутренней Евразии и обращать внимание на необходимость ее всестороннего изучения. 18 августа 1845 года по императорскому распоряжению в Санкт-Петербурге было создано Русское географическое общество, а спустя год – Русское археологическое общество.

Экспедиции, направляемые Россией в этот период в Азию, имели в первую очередь разведывательный характер, в организации наиболее крупных экспедиций принимал участие Генеральный штаб, что отчасти было связано с т.н. «Большой игрой», в ходе которой европейские державы оспаривали контроль над регионом. В 1870-1880 гг. великий путешественник Н.М. Пржевальский (1839-1888 гг.) совершил четыре экспедиции в Центральную Азию. Свое время он охарактеризовал как «эпический» период путешествий, подчеркнув, что в дальнейшем предстоит детальное изучение нанесенных на карту регионов.

Дело Н.М. Пржевальского продолжили его ученики и последователи, среди которых наиболее выдающихся для востоковедения результатов достиг П.К. Козлов (1863-1935 гг.), открывший в 1908 г. в пустыне Гоби (Внутренняя Монголия, Китай) остатки мертвого города Хара-Хото и доставивший в Санкт-Петербург уникальные памятники искусства и письменности народа тангутов, полностью уничтоженного монголами в XIII в.

Значительный вклад в развитие российского востоковедения внесли наши военные и дипломаты. Российское государство много веков вело дипломатическую деятельность в Азии и на православном Востоке. Выход Российской Империи на Черное море, к Кавказу и Средней Азии, на Дальний Восток потребовал большого количества дипломатов, и не всегда гражданских. Военное востоковедение стало особым направлением отечественной науки со своей школой научно-практических, прикладных исследований и традициями. Дипломаты выполняли и важную задачу пополнения библиотечных и музейных фондов России. С 1830-х годов всем сотрудникам МИД, служившим на Востоке предписывалось покупать рукописи и книги на восточных языках, и этот порядок неукоснительно соблюдался до 1914 г., начала Первой мировой войны. Большую роль в собирательской деятельности России в Восточном Туркестане (Синьцзяне) сыграл Н.Ф. Петровский (1837–1908 гг.), первым получивший в Цинской империи официальный статус иностранного консула.

В условиях политического соперничества мировых держав в Азии военные востоковеды и дипломаты предоставляли научному сообществу результаты своих теоретических и прикладных исследований, которые способствовали организации управления новыми территориями, решению пограничных проблем, установлению контактов с местным населением.

К 1890-м гг. относится формирование «новой школы русского востоковедения», основателем которой считается арабист, академик, декан Факультета восточных языков Петербургского университета барон Виктор Романович Розен (1849-1908 гг.). Именно в эту пору отечественное востоковедение переживает *второй «золотой» период* своего развития, оно сложилось как комплекс гуманитарных наук – истории, литературоведения, лингвистики, философии, этнологии, – изучающих определенные регионы Востока. В число ближайших учеников Розена входили академики-востоковеды, которые сами позже создали научные школы в своих дисциплинах: индианист и исследователь Центральной Азии С.Ф. Ольденбург (1863-1934 гг.), кавказовед-лингвист Н.Я. Марр (1864-1934 гг.), буддолог Ф.И. Щербатской (1866-1942 гг.), историк Востока и исламовед В.В. Бартольд (1869-1930 гг.), арабист И.Ю. Крачковский (1883-1951 гг.) и др.

Благодаря усилиям Розена и его учеников российское востоковедение активно включилось в процесс интеграции народов азиатских территорий России в общееимперское пространство. Востоковеды занимались не только изучением исторического прошлого, но и содействовали сохранению археологических памятников и организации региональной науки. Важную роль в этом процессе играли организуемые при их участии научные общества (отделения научных обществ), которые со временем стали основой национальных академий советских республик, ныне новых независимых государств.

Внутреннее устройство и взаимоотношения исследовательских учреждений России, сложившихся в основном в первой половине XIX в., к концу столетия не удовлетворяли новым потребностям науки, и стало очевидно, что уровень организации науки отстает от уровня развития научной мысли. О новых целях востоковедения и его возросшей роли в укреплении российской государственности академик-иранист, многолетний директор Азиатского Музея К.Г. Залеман

(1850-1916 гг.) писал так: «...востоковедению у нас уже нельзя отвести место более или менее отвлеченной науки. Оно приобрело значение немаловажного фактора в государственной жизни».

После Октябрьской революции 1917 г. Академия наук была передана в ведение Комиссии по народному просвещению при Наркомпросе. Востоковедение стало рассматриваться властью в первую очередь как практическая дисциплина, предназначенная для экспорта «мировой революции» в страны Азии. Происходят коренные изменения в высших учебных заведениях. После реорганизации Петроградского университета был закрыт Факультет восточных языков, на основе которого в 1920 году создается Институт живых восточных языков, просуществовавший до 1944 года – года воссоздания Восточного факультета ЛГУ. Осуществляются также попытки создания координирующего органа академической востоковедной науки.

Большую роль в сохранении традиций отечественного востоковедения сыграл Сергей Федорович Ольденбург (1863-1934 гг.), добившийся значительно повышения статуса Академии наук в государстве. Создание первых научных институтов, проекты которых вносились в Правительство страны с начала 1900-х гг. было важным шагом новых властей для установления сотрудничества с руководством Академии.

В 1929 году была принята «Декларация о задачах востоковедной науки», на основании которой в 1930 году в Ленинграде был создан Институт востоковедения. Главной его задачей было написание трудов по истории среднеазиатских республик Советского Союза, составление словарей; много сил было уделено латинизации письменностей народов Азии. При этом, создавая в новой стране «новое» востоковедение, ученые, получившие образование в дореволюционной России, немало усилий приложили к тому, чтобы традиции классической востоковедной науки были сохранены и получили дальнейшее развитие.

Великая Отечественная война, составившая героическую страницу в истории нашей страны, стала тяжким испытанием для коллектива Института востоковедения, в ту пору находившегося в Ленинграде. 43 сотрудника Института – более трети Научного состава – погибли на фронтах Великой Отечественной войны и умерли в Ленинграде в годы блокады. Многие из них ушли из жизни в первую блокадную зиму 1941–1942 гг. в самом начале своего научного пути, в расцвете творческих сил. Эвакуированные в республики Средней Азии исследователи содействовали созданию там национальных востоковедных школ.

Первое послевоенное десятилетие оказалось временем перемен для отечественного востоковедения, перед которым государство поставило новые гораздо более масштабные задачи. После Второй мировой войны в Азии происходят активные процессы антиколониального национально-освободительного движения, и как влиятельнейшая держава Советский Союз не желает оставаться от них в стороне.

В 1950 г. Совет Министров СССР решает перевести Институт востоковедения из Ленинграда в Москву. При этом рукописную коллекцию и фундаментальную библиотеку Азиатского Музея было разрешено оставить в Ленинграде.

Перевод Института востоковедения в Москву не сразу привел к ожидаемым результатам. Институт подвергся суровой критике в феврале 1956 г. на историче-

ском XX съезде КПСС. Это способствовало тому, что государство обратило внимание на проблемы востоковедения и предоставили широкие возможности для его реорганизации.

Так начался *третий «золотой» период* в истории отечественной востоковедной науки, связанный с деятельностью директора Института востоковедения в Москве Бободжана Гафуровича Гафурова (1908-1977 гг.) и заведующего Ленинградским отделением ИВ АН Иосифа Абгаровича Орбели (1887-1961 гг.).

В это время в ИВ АН открываются новые научные направления, усилилась помощь практическим организациям, большое внимание стало уделяться международным связям, было создано Издательство восточной литературы. Институт стал осуществлять координирующую деятельность в масштабах всей страны.

Легендарный многолетний директор Государственного Эрмитажа, кавказовед, академик И.А. Орбели в новых условиях, проникнутых духом коренных перемен и необходимости решения актуальных политических задач, сумел сохранить направления, традиционно связанные с изучением письменных памятников Востока и составляющие основу отечественного классического востоковедения.

Период стабильного развития востоковедения продолжался до начала 1990 гг. Потом начались трудные времена, но хочется надеяться, что они позади. Культура работы наших предшественников и непосредственных учителей обязывает к тому, чтобы сохранить традиции и уникальные отечественные школы, неформально подходить к объективной оценке работ коллег, давать пример молодежи. И тогда наверняка наступит *четвертый «золотой» период* в истории российского востоковедения, которое должно продолжить свое служение на благо Государства Российского.

ДОКТОР ИСТОРИЧЕСКИХ НАУК В.М. РЫНКОВ

«НОВОСИБИРСКИЙ АКАДЕМГОРОДОК: ТЕХНОЛОГИЯ «БРОСКА» СОВЕТСКОЙ НАУКИ НА ВОСТОК»

С первых десятилетий существования Академии наук в XVIII в. немногочисленные интеллектуальные силы России были сосредоточены в столице и дворянских усадьбах Центральной России, а основные ее богатства, природные биологические лежали на Урале и за ним, в огромном редко заселённом крае. В Академии наук прекрасно понимали значение Сибири. Организованные в XVIII в. академические экспедиции в Сибирь имели комплексный характер и, как правило, были многолетними. Но они оставались только полевыми исследованиями, после которых ученые возвращались в столицу. На смену академическим пришли экспедиции Министерства внутренних дел, Военного министерства, Русского географического общества, и другие ведомственные и общественные.

Все это время исследователями Сибири оставались приезжие из России или даже из-за границы. В лучшем случае они прибывали в Сибирь не по своей воле и оставались ее жителями недобровольно. Такова плеяда декабристов, оказавшихся в сибирской ссылке, а также польских ссыльных. Лишь к последней четверти XIX в. стала формироваться немногочисленная генерация сибиряков – исследователей Сибири и сопредельных территорий.

В канун революции в Сибири существовало два томских вуза и один во Владивостоке. В годы Гражданской войны появилось еще три: в Омске, Иркутске и Владивостоке. Именно высшие учебные заведения позволили рассчитывать на формирование местной ученой элиты. На повестку сибирскими учеными был поставлен вопрос о создании комплексного многофилиального научного учреждения. Когда Сибирь ненадолго оказалась под властью противников большевиков, довольно много известных ученых оказались здесь в качестве беженцев из центральных регионов России. Они охотно включались в исследовательскую программу по изучению Сибири, усилив тем самым местный научный потенциал. Совместно они и выдвинули предложение об организации Института исследования Сибири.

«Целью Института, – говорилось в «Положении об Институте исследования Сибири», принятом на общем собрании съезда 25 января 1919 г., – является планомерное научно-практическое исследование природы, жизни и населения Сибири в целях наиболее рационального использования естественных богатств края и культурно-экономического его развития». Институт располагался в Томске, но было создано его Восточно-Сибирское отделение в Иркутске и Дальневосточное во Владивостоке. Правда, советская власть институт закрыла по причине отсутствия средств на его содержание, и опасения в недостаточной лояльности сотрудников.

В 1920–1930 гг. вновь возобладала экспедиционная форма исследования. В 1930 году решением общего собрания АН СССР создана постоянная комиссия по

изучению Сибири во главе с академиком Александром Евгеньевичем Ферсманом. Далее образованы и успешно работали Кулундинская комплексная экспедиция Совета по изучению производительных сил АН СССР (1931–1934 гг.), Ангарское бюро АН СССР (1931–1934 гг.), комплексная экспедиция Совета по изучению производительных сил АН СССР на БАМе (1932–1934 гг.). Помимо комплексных было около 250 целевых экспедиций.

С 1931 г. обсуждались и перспективы создания стационарных учреждений Академии наук – Уральского, Западно-Сибирского и Дальневосточного отделений. Но позже их стали именовать скромнее – базами или филиалами. В довоенный период местных научных кадров оказалось явно для этого недостаточно. Подтверждением такой ситуации стало решение об открытии 27 июня 1932 г. Уральского отделения АН СССР. В его штате числилось всего 50 сотрудников, из них научных – только 23. Позже его преобразовали в филиал и в 1936 г. даже хотели ликвидировать ввиду отсутствия кадров и средств на содержание. В 1932–1939 гг. существовал Дальневосточный филиал РАН, также небольшой.

И лишь Великая Отечественная война, сопровождавшаяся эвакуацией в том числе и научных кадров, усилением стратегического значения наукоемких производств, изменила положение. 21 октября 1943 г. постановление СНК СССР учреждало Западно-Сибирский филиал АН СССР в Новосибирске. К концу войны число сотрудников превысило сотню, построили здание президиума, развернулось строительство еще нескольких Институтов в центре города. За 13 лет в филиале проводилась большая научная работа, анализ которой – самостоятельная тема. Отметим лишь дальнейшее расширение географии научных учреждений в первые послевоенные годы: созданы подразделения в Томске и Кемерово, образована в 1947 году Якутская база АН СССР, ставшая в 1949 году филиалом. В том же году учреждены Дальневосточный и Восточно-Сибирский филиалы.

Таковы организационные предпосылки, без которых создание Сибирского отделения не могло бы состояться. Сама история, связанная с первоначальным замыслом, хорошо известна. Михаил Алексеевич Лаврентьев, академик-секретарь отделения физики, член президиума, выразил озабоченность двумя проблемами – слабая связь институтов с производством и концентрация науки в столице. В этом вопросе он нашел понимание у Сергея Алексеевича Христиановича, академика-секретаря технических наук и академика Сергея Львовича Соболева, в прошлом директора института математики, с опытом работы в Центральном аэрогидродинамическом институте. Таким образом, изначально все шло вроде бы не от нужд Сибири и освоения ее ресурсов. Это был совершенно новый вектор.

Приведем немного статистики – к 1953 г. в АН СССР работало около 30 тыс. чел., из них 11,5 тыс. научных сотрудников. 85% кадров располагались в Москве и Ленинграде. Замысел заключался не просто в том, чтобы преобразовать филиал в отделение. Бюрократические переименования и смена статусов происходили и раньше и, как показывает опыт, имели обратимый характер. Теперь «бросок на востоке» призван был одновременно придать новый импульс развитию Академии наук в целом, вывести советскую науку к новым организационным и технологическим рубежам. Он совпал по времени с поиском высшей партийно-советской

властью новых форм организации науки и ее взаимодействия с производством и получил поддержку Н.С. Хрущева.

Стоит обратиться к ключевому нормативному акту о создании Сибирского отделения – постановлению Совета министров СССР от 18 мая 1957 г. Во-первых, выделялись огромные средства для масштабного строительства наукограда нового типа. Его планировали как замкнутое социально обустроенное пространство, где производственные помещения, жилье и досуговые учреждения будут находиться в шаговой доступности. Во-вторых, отраслевые научные приоритеты видны из перечня первых институтов, утвержденных уже упомянутым и последующими законодательными актами. Очевиден мощный крен в сторону фундаментальной и научно-технологических отраслей. В центре внимания оказались физика, химия, биология. Оставалась и традиционно мощное в Сибири геологическое направление, и экономика как наука, призванная решать прикладные задачи, связанные с расчетами по организации производства. Важно также, что все сибирские и дальневосточные действующие и вновь открываемые научные учреждения входили в структуру Сибирского отделения и подчинялись ему. Руководящий состав институтов подбирался президиумом СО АН СССР и утверждался президиумом АН СССР. Сибирское отделение подчинялось не только Академии наук, но и Совету министров РСФСР.

Проект создания Новосибирского академгородка был настолько успешен, что может и должен рассматриваться как комплекс уникальных новых прорывных социальных технологий, которые могли сработать только в свою эпоху и только в советских условиях. Его уникальность состояла в том, что его градообразующим учреждением было само Сибирское отделение со всеми его составляющими институтами. Это отличало его от других советских наукоградов, как правило монопрофильных.

Авторская модель комплексного научного центра получила название «Треугольник Лаврентьева». Она успешно действовала на протяжении четверти века. В ее основу положены следующие принципы: междисциплинарное развитие фундаментальных исследований; разработка на их основе инновационных технологий для внедрения в производство; подготовка кадров по актуальным научным направлениям непосредственно сотрудниками Институтов и для своих институтов.

Жилищное строительство и комфортные условия для занятия наукой, а также небывалые для традиционных советских научных центров возможности карьерного роста в недавно созданных институтах рассчитывать на прибытие в Академгородок лучших советских ученых.

Руководители институтов могли приглашать сотрудников под конкретные научные задачи. Субординация Институтов проходила не через Москву, а здесь, в отделении, через президиум, который мог ставить им общие задачи. Это создавало уникальные условия для развития междисциплинарности. Академгородок стал лицом динамично развивающейся советской науки, открытым для мировой науки. Новосибирские ученые имели возможность инициировать и успешно проводить множество международных мероприятий.

Политическое решение Н.С. Хрущева о поддержке идеи М.А. Лаврентьева в значительной мере объяснялось продолжавшимся противостоянием СССР и

Запада. Профиль большинства институтов был связан с военно-промышленными разработками. В Академгородке должен был сложиться пояс внедрения, состоящий из сибирских военно-промышленных предприятий. В Новосибирских институтах много внимания уделялось прикладному аспекту, внедрению, работе с изготовителями, заказчиками, участию в совместных испытаниях.

Но изначально основатели Академгородка задумались и над проблемой подготовки новых кадров. Новосибирский государственный университет стал частью Сибирского отделения и создавался как университет нового типа. С первых лет был налажен поиск наиболее талантливых школьников, которых ориентировали на поступление в НГУ. Большинство его преподавателей работали в Институтах, где студенты привлекались к практической работе и изначально готовились к тому, чтобы пополнить научные ряды.

Сибирское отделение задумывалось как система комплексных научных центров, охватывающих всю территорию макрорегиона. В целом, несмотря на трудности и проблемы, стратегию Сибирского отделения расширению сети научных учреждений удалось реализовать. В 1960-е годы укрепились Новосибирский, Иркутский и Якутский научные центры – те, в которых до 1957 года действовали филиалы АН СССР. В конце 1960-х – 1970-х годов началось активное развитие академических центров в Томске, Красноярске, Улан-Удэ. В 1990 г. были открыты научные центры в Кемерово, Тюмени и Омске. Но повторить масштаб Новосибирского Академгородка и внедрить его социальные технологии больше нигде не удалось. В других научных центрах вакансии занимались преимущественно местными кадрами, разбросанность по городу сотрудников сделала невозможным организацию замкнутого социального пространства.

В новосибирском научном центре появилось еще два наукограда. Сибирское отделение ВАСХНИЛ было образовано 14 ноября 1969 г. Вскоре советское руководство приняло решение образовать специальные поселки для каждого отделения – в Киеве, Ташкенте и Новосибирске. В результате под Новосибирском появился максимально приближенный к модели Академгородка вариант наукограда – Краснообск. Второй наукоград – Кольцово, создавался вокруг крупного градообразующего предприятия – Научно-производственного объединения «Вектор». Строительство современного поселка городского типа при «Векторе» развернулось с 1974 г. Он во многом напоминал традиционной советский наукоград.

Сейчас, когда в Российскую академию наук включены сельскохозяйственная и медицинская академии, в составе ее Сибирского отделения числятся 99 академиков и 101 член-корреспондент РАН. Сибирское отделение сегодня – это 25% кадрового состава академии, из них в Новосибирском научном центре работает половина.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН И.В. ТУНКИНА
«ОСНОВНЫЕ ВЕХИ ИСТОРИИ
АКАДЕМИИ НАУК
В САНКТ–ПЕТЕРБУРГЕ–ПЕТРОГРАДЕ–ЛЕНИНГРАДЕ
(1724–1934 гг.)»

С воцарением Петра I науки в России получили мощный импульс к развитию. В стране не было ни системы светского образования, ни собственного «ученого сословия», для формирования которых власти вынуждены были приглашать иностранных специалистов. 28 января (8 февраля) 1724 г. именным указом императора Сенату в Санкт-Петербурге была учреждена Академия художеств и наук. Под «художествами» и «рукоделиями» в то время понимались: ремесло, инженерное дело, инструменто- и приборостроение, зодчество, чертежное дело (включая изготовление географических карт), типографское искусство, живопись, гравюра, скульптура и пр. Петр I умер, не успев утвердить устав АН. 7 декабря 1725 г. последовал именной указ Екатерины I Сенату «О заведении Академии наук» и назначении лейб-медика Л.Л. Блюментроста ее президентом. Роль устава до 1747 г. выполнял «Проект положения об учреждении Академии наук и художеств» Л.Л. Блюментроста. «Социетет художеств и наук», финансируемый из государственной казны, понимался как совокупность научно-исследовательских (АН и ее учреждения) и учебных (академические гимназия и университет) учреждений, которые должны были готовить бюрократическую и интеллектуальную элиту страны. Основная особенность Петербургской АН и ее отличие от других академий Европы – соединение функций исследования и обучения одним составом ученых, на одной материальной базе.

Реальные потребности государства в квалифицированных научных кадрах вплоть до середины XIX в. значительно опережали возможности российского образовательного потенциала, поэтому для иностранных ученых власти создавали выгодные условия для работы с целью сообщить русской науке начальный импульс для ее дальнейшего самостоятельного развития. Ученые-иностранцы способствовали европеизации русской науки, показывая образцы изданий в разных областях знания, давая научную интерпретацию явлений природы и общества. Профессора, подписывавшие контракт на службу в АН как правило на 5-летний срок, составили Конференцию (Общее собрание) членов АН и обязаны были читать лекции. Младшее ученое звание в АН именовалось адъюнкт (помощник профессора, с 1726 г.), каковым являлся швейцарец Леонард Эйлер, занявший в Санкт-Петербурге вакантную кафедру адъюнкта по физиологии (1727). Не входили в Общее собрание и не имели права голоса русские и иностранные почетные члены (с 1725 г.) и корреспонденты (1759-1846 гг., с 1846 г. – члены-корреспонденты).

Число сотрудников АН постоянно увеличивалось за счет вспомогательного персонала и учебной части, что приводило к хроническому дефициту бюджета. В штатном расписании Петербургской АН на 1725 г. значилось 30 чел., штат 1741 г. включал 321 чел. – 15 академиков, 9 адъюнктов, 8 переводчиков, 17 студентов,

113 гимназистов, 200 чел. в Типографии и др. мастерских. В штате АН 1789 г. значилось 353 чел. – 17 академиков и адъюнктов, 130 студентов, гимназистов, учеников, подмастерьев, 206 низших служащих, включая 86 чел. работников Типографии. С 1727 г. сотрудники Академии по году и более не получали жалование, а с 1756 г. из-за долгов штатное жалование рядовым служащим не выплачивалось 10 лет! Жалование нередко выдавалось академическими книгами, которые продавали для получения средств на жизнь.

Елизавета Петровна 24 июля 1747 года утвердила первый регламент и штат Императорской академии наук и художеств. Академия делилась на астрономический, физический, физико-математический и математический классы. Все общественные и историко-филологические дисциплины были отнесены к ведению Университета. Несмотря на финансовые проблемы, к середине XVIII в. Петербургская АН стала единственным учреждением в Европе, где исследовательская работа являлась профессией, полностью обеспечивавшей средства к существованию ученых. В Парижской АН (единственной, где оплачивался труд членов) пенсия после многих лет бесплатной работы составлял от 800 (ок. 200 руб.) до 2000 ливров – половину минимального жалования профессора Петербургской АН. Помимо жалования, Российское государство оплачивало проживание, питание, дрова, свечи, бумагу, а главное – за свой счет издавало научные труды ученых в изданиях АН. Академия прославилась звездами первой величины, среди которых математик Л. Эйлер (1707-1783 гг.), ученый-энциклопедист М.В. Ломоносов (1711-1765), естествоиспытатель П.С. Паллас (1741-1811 гг.). Все, что было достигнуто в области науки в России XVIII в., стало результатом деятельности Петербургской АН. Главной задачей академии стало географическое, историко-филологическое и естественно-научное познание страны и Земного шара, продолжавшееся в XIX–начале XX в. благодаря организации 902 научных экспедиций. В 1717-1798 гг. состоялось 95 экспедиций, в 1799-1899 гг. – 142, в 1900–1916 гг. – 665.

При президенте К.Г. Разумовском, номинально руководившем АН 52 года (1746–1798), но фактически до 1760 г. из-за его отъезда в Малороссию, была введена должность директора (управляющего делами) АН. В 1766 г. Екатерина II «приняла» АН «в собственное Ее Императорского Величества ведомство, для учинения в ней реформы»: директор на правах президента становился единоличным управителем академии. В 1770 г. в директорство В.Г. Орлова гимназия и университет были объединены и стали называться Училище АН. Директор АН (1783-1794 гг.) княгиня Е.Р. Дашкова ввела режим строгой экономии и добилась целевых государственных субсидий (100 тыс. руб.) для строительства нового здания АН по проекту Дж. Кваренги (ныне Университетская наб., д. 5). Параллельно Е.Р. Дашкова в 1783 г. была назначена президентом созданной Екатериной II Российской академии – гуманитарного научного центра страны для переводов исторических источников и книг о территории России, составления академического словаря и грамматики русского языка, развития филологических, исторических и славистических исследований с целью «увековечить в произведениях слова крупнейшие события минувшего и настоящего времени».

В 1803 г. император Александр I подписал новый регламент и штат Императорской АН, подчинив ее Министерству народного просвещения (создано

в 1802 г.). Расходы на просвещение достигли 2% расходной части бюджета России. АН была провозглашена «первым ученым обществом в империи» с бюджетом 120 000 руб. ассигнациями в год. Регламент вводил конкурсную систему замещения ученых должностей (академики и директора учреждений стали избираться Конференцией), регламент впервые законодательно давал сотрудникам АН чины в соответствии с петровской «Табелью о рангах», возведя их в статус государственных служащих. Новым органом административно-хозяйственного управления стал Комитет правления (с 1893 г. – Правление, ликвидировано уставом АН СССР 1927 г.). Конференцию (Общее собрание) составляли 18 ординарных академиков, 20 адъюнктов и неопределенное число экстраординарных академиков. Но из-за инфляции жалование по АН не обеспечивало прожиточный минимум даже для действительных членов Академии, поэтому почти половина академических кафедр оставалась вакантной; широкое распространение получило совместительство членов Конференции. Хронический дефицит бюджета заставил президента (1818-1855 гг.) С.С. Уварова добиваться утверждения «Дополнительных правил» к Регламенту (1830 г.), нового штата (1830 г., финансирование – 206 100 руб.) и принятия Устава 1836 г. «первого ученого сословия в империи» – Императорской Санкт-Петербургской Академии наук (1836-1914 гг.) с бюджетом 241 800 руб. Конференцию составили 21 академик и 10 адъюнктов. Из обязанностей ученых исключались педагогические функции.

В 1841 г. Академия наук была реорганизована и стала включать три отделения. I-е (Отделение физико-математических наук) состояло из 15 ординарных академиков и 5 адъюнктов. После смерти президента Российской академии адмирала А.С. Шишкова Николай I ликвидировал гуманитарную академию и учредил II-е отделение (Отделение русского языка и словесности) АН, назначил 16 ординарных академиков и несколько почетных членов из членов бывшей Российской академии. III-е (Отделение исторических наук и филологии) включало 6 ординарных академиков и 5 адъюнктов. Академия наук расширилась до 43 действительных членов (число кафедр сохранялось до 1927 г.). Эпоху в истории АН составило президентство (1889-1915 гг.) великого князя Константина Константиновича. На рубеже XIX-XX ст. почти окончательно «обрусевшая» АН смогла полнокровно синтезировать достижения мировой научной мысли, в отдельных отраслях знания выйдя на передовые рубежи. В 1912 г. был принят закон о новом штате АН, ликвидировавший звания экстраординарного академика и адъюнкта; с 1913 г. бюджет возрос до 1 007 159 руб. По смете государственных расходов Российской империи на 1914 г. расходы на Министерство народного просвещения (включая АН) составляли 5,1% от расходной части бюджета. В академию входили 19 учреждений «по ученой части», общий штат к 1917 г. достиг 220 чел., из которых половину составлял ученый персонал. 21 академик входил в два гуманитарных отделения— Историко-филологическое и Русского языка и словесности. Главным поставщиком научных кадров стали 11 университетов империи; при этом из-за социального расслоения в 1914 г. на 40 млн чел. взрослого населения страны приходилось около 23 млн неграмотных (57,4%).

Две революции 1917 г. изменили вектор развития Академии наук и судьбы ее сотрудников. При Временном правительстве академикам удалось добиться боль-

шей автономии: вместо назначения императором вводилась выборность президента и вице-президента на 5-летний срок, отменялось обязательное проживание академиков в Петрограде, устранялись сословные и национальные привилегии. Первые демократические выборы президента 15 мая 1917 г. завершились единымгласным избранием А.П. Карпинского. 11 июля 1917 г. распоряжением Временного правительства следовало «бывшую Императорскую Академию наук именовать впредь Российская Академия наук», так как ее деятельность «распространяется на всю Россию». Февральские «ветра» подтолкнули Академию к ускорению процессов институализации русской науки: обсуждался проект создания сети государственных научно-исследовательских институтов, завершились работы по реализации реформы русского правописания и реформы календаря, впервые был поднят вопрос о создании археологических, историко-культурных и биосферных заповедников по всей стране.

Октябрьский переворот Академия наук категорически не приняла, однако отсутствие госбюджетного финансирования в январе 1918 г. заставило руководство РАН пойти на контакты с представителями Наркомпроса РСФСР – начался новый, советский этап истории Академии наук. За годы революции и гражданской войны от голода, болезней, тяжелейших условий быта, из-за эмиграции академиков РАН потеряла половину своих членов. Академия включила в свой состав Пулковскую обсерваторию, Пушкинский Дом, Археографическую комиссию, Православное Палестинское общество, Театральный, Толстовский, Палеографический музеи и др. Празднование 200-летия со дня основания АН (1925 г.) с приглашением 98 ученых из 24 стран мира показало заинтересованность властей в перестройке всех академических основ для нужд «социалистического строительства», академия была переименована в АН СССР и признана высшим научным учреждением страны, подчиненным Совнаркому СССР (в 1918-1925 гг. подчинялась Наркомпросу РСФСР; в 1930–1933 гг. – ЦИК СССР). Ее уставы и планы работы стали утверждаться правительством. Для оперативной связи с властями были созданы президиум (1925), Секретариат (1927 г.), Управление делами (1927 г.). Многие идеи, сформулированные в 1917 г., были претворены в жизнь теми учеными, кто не эмигрировал, сумел выжить в Советской России и передать эстафету научного знания следующим поколениям. Ломка, связанная с переходом от одной экономической системы к другой, навязываемая властью идеологизация науки и знаний, решение государственных задач требовало от академии коллективного участия в разработке народно-хозяйственных проблем (план ГОЭЛРО и др.), изменения организации научных исследований сначала в виде создания комиссий (КЕПС, 1915-1930 гг.; КИПС, 1917-1930 гг.; СОПС, 1930-1960 гг. и др.), затем сети научно-исследовательских институтов, лабораторий, станций, филиалов и баз по всей стране.

Первые советские уставы АН СССР (1927, 1930 гг.) разделили Академию на два отделения (ОРЯС ликвидировано в 1927 г.): физико-математических (с 1930 г. математических и естественных) и гуманитарных (с 1930 г. общественных) наук. Центр тяжести смещался с гуманитарных наук в сторону точных наук и естествознания. Уставом 1927 г. число членов увеличено до 70 академиков (2 вице-президента, с 1934 г. – 3); в 1928 г. число кафедр было увеличено до 85

с целью провести в ее состав коммунистов и ученых, лояльных советской власти; члены-корреспонденты получили право совещательного голоса (с 1927 г.). Постепенно стали внедряться административные методы управления наукой. Уставы 1927, 1930, 1935, 1963 гг. оговаривали, что действительный член лишается своего звания, если его деятельность направлена явным образом во вред Союзу ССР. Большевики, проведя «культурную революцию», реформативовав среднюю и высшую школу, использовали АН как инструмент возрождения экономики и превращения СССР в великую державу, попутно избавляясь от ученых «старой школы» – многие подверглись необоснованным репрессиям в ходе «дела академика С.А. Жебелёва» (ноябрь-декабрь 1928 г.), проверки комиссии Рабоче-крестьянской инспекции, чистки сотрудников и отставке старого административного аппарата АН, исключения из АН СССР ученых-эмигрантов (1928 г.), «дела Академии наук» (1929-1931 гг.), «дела славистов» (1933-1934 гг.) и др. С целью советизации научных кадров в АН СССР были созданы сначала институт практикантов (1926 г.), затем аспирантура (1929 г.).

В целях «дальнейшего приближения всей работы Академии наук к научному обслуживанию социалистического строительства» постановлением СНК СССР от 25 апреля 1934 года Академия наук СССР была переведена из Ленинграда в Москву. В Ленинграде в то время работали 84 академика; научный персонал состоял из 1 380 человек. В северной столице остались большинство учреждений Отделения общественных наук. Мобилизовав интеллектуальный потенциал, резко увеличив кадровый состав, число научных учреждений и внедрив новые формы организации исследований, государство добилось качественно нового уровня взаимодействия с академическими учеными: в первые десятилетия советской власти академия распространила свою деятельность на всю страну и стала штабом советской науки. Героическими усилиями академических ученых была сохранена преемственность научных традиций и реализовано лучшее, что было создано в отечественной науке XX века.

ДОКТОР ИСТОРИЧЕСКИХ НАУК Р.А. ФАНДО «ОТКРЫТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК НА ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛЕ “300 ЛЕТ СЛУЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ”»

По истории создания и деятельности Академии наук написаны фундаментальные труды, и до сих пор продолжаются исследования в данном направлении. В основном они касаются истории учреждений и жизни отдельных выдающихся ученых. В тени остается история идей, история выдающихся открытий и изобретений. Именно ради этого нового знания и создавалась Российская академия наук. Напомню, что в 1 параграфе проекта положения об учреждении Академии наук и художеств говорилось, что Академия должна представлять собой собрание учёных, которые не только знают науки, но и приумножают их результатами своих исследований.

Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН (ИИЕТ РАН) на протяжении более 90 лет (институт был создан в 1932 г.) занимается изучением фундаментальных открытий мировой науки и техники. В Институте работают ученые различных научных специальностей: биологи, химики, географы, геологи, техники, физики, математики. На базе института действует 5 диссертационных советов по 6 научным дисциплинам, некоторые советы – по биологическим, физико-математическим, геолого-минералогическим наукам являются единственными советами в России по данным научным специальностям.

Естественно, что кроме проведения фундаментальных исследований институт занимается распространением научных знаний, в том числе их популяризацией. Данная деятельность является важной в какой-то степени государственной задачей, которая была поставлена еще при учреждении Академии наук. В приведенном ранее проекте положения об учреждении Академии наук и художеств указывалось, что Академия учреждается не только для развития наук, но и для их распространения в народе.

К сожалению, к научным и научно-популярным трудам, посвященным истории Академии наук, сегодня, как правило, обращаются только профессиональные ученые или специалисты-историки. Для широкой публики основным источником информации сегодня является Интернет. В связи с этим особо важным нам показалось создание именно интернет-сайта, посвященный истории Академии.

Коллективом ИИЕТ РАН было принято решение внести свой вклад в изучение и популяризацию истории Академии наук не только традиционным образом, то есть, проведя научные конференции, опубликовав научные труды по данной теме. Институт подготовил заявку на конкурс научно-просветительских проектов фонда «История Отечества» на создание интернет-портала «300 лет служения человечеству». Наш проект получил поддержку, и на протяжении нескольких последующих месяцев велась работа по его разработке и наполнению.

В рамках проекта был создан сайт, на котором в научно-популярной форме была представлена информация о важнейших научных открытиях, сделанных учеными Российской академии наук/Академии наук СССР, и приведших к проры-

вам в развитии фундаментальных представлений об устройстве мира. Для создания такого портала сначала необходимо было провести специальное историческое исследование, определить круг важнейших открытий и изобретений российских ученых за 300 лет работы Российской академии наук, написать посвященные им научно-популярные очерки. Очевидно, что российскими учеными за 300 лет работы Академии наук было сделано немало. В связи с чем необходимо было максимально объективно оценить значение конкретного открытия в контексте развития отдельных отраслей знаний и науки в целом. Написать историю каждого из «великих открытий» – очень масштабная задача, которая не могла быть решена в течение короткого периода времени. На первом этапе было решено подготовить и разместить на интернет-портале 50 научно-популярных статей по теме проекта. Необходимо было также в архивах и библиотеках подобрать иллюстративные материалы. Созданный портал, согласно нашей задумке, должен был иметь возможность дальнейшего пополнения и развития.

Работа над проектом велась в очень сжатые сроки: с 15 марта по 1 ноября 2023 г. В написании научно-популярных статей приняли участие более 30 авторов, главным образом, научных сотрудников ИИЕТ РАН. Авторы постарались в максимально простой доступной форме объяснить, в чем заключалась суть тех или иных открытий. К реализации проекта был привлечен Архив Российской академии наук. Его сотрудники подобрали и оцифровали для нас хранящиеся в фондах Архива портреты выдающихся ученых – авторов крупнейших научных открытий и изобретений. Выполнение технической части работы по разработке и наполнению сайта взял на себя Российский технологический университет. Раньше этот вуз назывался Московским институтом радиотехники, электроники и автоматики, сейчас это один из крупнейших учебных и научных центров России в сфере информационных технологий. Финансовую и информационную поддержку нам оказал фонд «История Отечества».

25 октября 2023 г. был запущен созданный общими усилиями интернет-портал: <https://ras-history.ru/>. На главной странице сайта изображена Кунсткамера, поскольку она является одним из старейших учреждений в системе Академии наук, здесь располагался первый русский музей и академическая библиотека. По ссылке можно перейти на страницу с краткой информацией о данном проекте. Третья страница – это основная рабочая зона нашего портала. В левой ее части размещены разделы с названиями научных отраслей: науки о Земле, биология, химия, физика, астрономия, техника и технические науки, общественные и гуманитарные науки, а также биографии ученых – авторов научных открытий. При нажатии на название раздела (научной отрасли) мы можем перелистывать расположенные в хронологическом порядке карточки с информацией о научных открытиях. На каждой карточке приведена иллюстрация, отображающая суть открытия, указаны фамилия и имя ученого, совершившего данное открытие и год, когда это открытие произошло. При нажатии на карточку открывается короткая статья, объемом не более 3 000 знаков, написанная в научно-популярном стиле о данном открытии. В конце статьи приведена гиперссылка на краткий биографический очерк об авторе данного научного открытия или изобретения. Тематические рамки интернет-портала очень широки. Здесь представлена информация об открытиях, начиная, на-

пример, с обнаружения Ломоносовым атмосферы на Венере в 1761 г., и заканчивая открытиями сегодняшнего времени.

Среди наиболее значимых открытий Академии в области физики приводятся следующие фундаментальные работы: изучение комбинированного рассеяния света, теория Вавилова-Черенкова, открытие низкотемпературной сверхпроводимости и сверхтекучести жидкого гелия, формулировка принципа автофузирования, обнаружение электронного парамагнитного резонанса, разработка проводниковых гетероструктур, создание квантовой теории калибровочных полей, советский атомный проект и др. За некоторые открытия отечественные физики получили Нобелевские премии. С 1956 г. по 1968 г. Нобелевской премии по физике было удостоено шесть отечественных и девять американских исследователей, что указывало на мировое научное лидерство этих двух сверхдержав. В 1958 г. за объяснение «эффекта Черенкова» премию получили П.А. Черенков, И.Е. Тамм, И.М. Франк, в 1962 г. – Л.Д. Ландау за разработку теории конденсированных сред и особенно жидкого гелия, в 1968 г. – Н.М. Басов, А.М. Прохоров за фундаментальные работы в области квантовой электроники, что привело в итоге к созданию излучателей и усилителей на лазерно-мазерном принципе.

Среди прикладных работ советских физиков особое значение имели академические разработки атомного проекта, причем не только в области создания ядерного оружия, обеспечивающего обороноспособность нашего государства, но и в области использования мирного атома. Наша страна стала родиной первой атомной электростанции. Путь к ее созданию пролегал через три великие державы: сначала учёные Третьего рейха описали процесс деления ядра атома, позже, в 1948 году, американцы построили первый ядерный реактор в Ок-Ридже, однако только в 1954 году была построена первая действующая атомная электростанция в Обнинске. Советский Союз был единственной страной в мире, которая строила и эксплуатировала атомный флот. Первый атомный ледокол «Ленин» был спущен на воду в 1959 году. Корабль приводился в действие тремя ядерными реакторами, потреблявшими при полной загрузке около 2,7 килограмм урана-235 в течение 100 дней.

В настоящее время отечественные физики-ядерщики продолжают покорять новые научные вершины. Специалисты Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в подмосковной Дубне ведут масштабную работу по запуску электронного коллайдера NICA – одной из самых масштабных установок класса «мегасайенс» в нашей стране. Новый коллайдер поможет ученым воссоздать состояние, в котором находилась Вселенная в первые мгновения после своего возникновения, а также даст мощный толчок для развития физики элементарных частиц, радиобиологии, космической медицины, материаловедения. В 2020-2022 гг. в лаборатории ядерных реакций ОИЯИ были получены пять новых изотопов сверхтяжелых элементов: лоуренсий-264, сиборгий-268, хассий-272, дармштадтий-276 и московий-286. Ю.Ц. Оганесян на протяжении более полувека занимается синтезом новых химических элементов на пучках тяжёлых ионов. В 1960-1970-х гг. им с сотрудниками были впервые проведены эксперименты по синтезу элементов порядковых номеров 104-108. Полученный в ОИЯИ 118-й химический элемент был назван в честь этого выдающегося ученого оганесонем.

Среди масштабных открытий в области биологии можно назвать обнаружение вируса, своего рода, неклеточной формы жизни. В 1892 г. была опубликована статья нашего соотечественника Д.И. Ивановского «О двух болезнях табака», в которой излагались результаты изучения мозаичной болезни этого растения в Крыму. Ученый установил, что причиной появления пятнистых листьев стала неизвестная ранее субстанция, которая в отличие от бактериальных клеток, не задерживалась на поверхностях очищающих фильтров. Данная структура не имела клеточного строения и подвергалась кристаллизации как обычные молекулы, поэтому получила название «кристаллы Ивановского». Сегодня, когда человечество то и дело сталкивается с серьезными эпидемиологическими проблемами, вызванными глобальным распространением различных вирусов, актуальными становятся проблемы расшифровки нуклеиновых кислот вирусов, генной терапии путем аденовирусной доставки, создания противораковых вакцин.

Отметим, что первым ученым, исследовавшим внутреннюю структуру гена, стал советский генетик А.С. Серебровский. Вместе со своими учениками он доказал (в противовес представлениям Томаса Моргана), что ген вовсе не является «единым и неделимым», а представляет собой сложную протяженную структуру. В 1927 г. А.С. Серебровский приступил к постановке опытов по искусственному получению мутаций у дрозофилы. В результате полученных экспериментальных данных была выдвинута идея о возможности изменений не только последовательности генов, но и их внутренней структуры. Содержащая смелые для того времени выводы статья А.С. Серебровского, Н.П. Дубинина, И.И. Агола, В.Н. Слепкова и В.Е. Альтшулера под названием «Получение мутаций рентгеновскими лучами у дрозофилы» была напечатана в 1928 году в «Журнале экспериментальной биологии». Впоследствии доказательство делимости генов легло в основу работ по изучению молекул ДНК и РНК. К огромному сожалению, запрет на генетические исследования, наложенный после печально известной Сессии ВАСХНИЛ 1948 г., не позволил отечественным ученым продвинуться дальше в понимании сложной структуры гена, а европейским и американским ученым дал возможность занять лидирующие позиции в данном направлении исследований.

Примеров выдающихся фундаментальных открытий можно привести множество, причем не только в естественных и точных науках, но и в сфере гуманитарного знания. Хочется верить, что нашу страну ждут новые открытия в прорывных исследованиях, а имена талантливых ученых, открывших человечеству новые знания и явления, навсегда войдут в историю мировой науки.

Таким образом, начатая нами работа по представлению в онлайн-пространстве объективной, основанной на результатах исторических исследований информации о достижениях российских ученых в области гуманитарных и естественных наук, дает возможность оценить вклад РАН в развитие научного знания и технологий в общемировом масштабе. В течение 2024 юбилейного года и в ближайшей перспективе планируется дальнейшее наполнение контента интернет-портала с привлечением заинтересованных исследователей из академических институтов и научных центров, а также ведущих вузов страны.

ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Г.К. КОРОТАЕВ, ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Р.А. ИБРАЕВ «РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА И БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ»

С начала 90-х годов при координирующей роли программы МОК ЮНЕСКО Global Ocean Observing System и ряда национальных программ развита международная сеть спутниковых и контактных оперативных наблюдений полей Мирового океана с открытым доступом для широкого круга потребителей. На основе этих наблюдений в ряде стран созданы службы морских прогнозов, дающие возможность контролировать состояние морей и океанов в любой точке и в любой момент времени и давать прогноз их изменений на срок атмосферного прогноза. Наиболее известной является морская служба программы Европейского Союза «Коперник», созданная в процессе реализации ряда проектов Европейской комиссии. Морской Гидрофизический институт в 2009-2014 годах был участником проектов Шестой Рамочной программы «Мой Океан» и «Мой Океан-2», развернув в институте Черноморский центр оперативных морских прогнозов. В 2010-2014 годах прогнозы центра были востребованы при проведении поисковых операций в акватории Черного моря. Начиная с 2014 года центр продолжает функционирование в оперативном режиме и вплоть до последнего времени он является единственным в России центром оперативных морских прогнозов, полностью соответствующим общеевропейскими стандартами.

В 2017 году был сформирован консорциум академических институтов, включающих Морской Гидрофизический институт РАН (МГИ РАН), Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН (ИВМ РАН) и Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), а также Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова (ГОИН) Росгидромета для создания макета национальной системы оперативного прогноза полей Мирового океана, Арктики и Азово – Черноморского бассейна на основе отечественных и зарубежных моделей и ассимиляцией доступных из открытых источников наблюдений. Реализация макета системы осуществлена при поддержке проекта РНФ «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна» на приобретенном в МГИ РАН высокопроизводительном вычислитель-

ном кластере. В составе макета входила численная модель циркуляции Мирового океана ИВМИО разработки ИВМ РАН и ИО РАН, численная модель циркуляции Арктического бассейна разработки ИВМ РАН, внедренная по мере выполнения проекта в ГОИН Росгидромета и адаптированная МГИ РАН численная модель циркуляции Азово-Черноморского бассейна на основе платформы НЕМО разработки институтов Европейского Союза. При создании макета национальной системы оперативного прогноза полей Мирового океана, Арктики и Азово-Черноморского бассейна был использован опыт МГИ РАН создания Черноморского центра оперативных морских прогнозов.

Система прогноза базируется на российских и зарубежных разработках. Особое внимание уделяется созданию и развитию отечественных моделей термодинамики океана, разработке методов усвоения данных наблюдений в моделях океана и в моделях двухфазной системы океан-лед, созданию соответствующих программных продуктов. Генеральное направление развития систем прогноза морской среды это, с одной стороны, повышение точности, с другой – переход к комплексным системам прогнозирования гидродинамических процессов, морского льда, биохимических и экологических процессов, включая перенос и трансформацию в морской среде радионуклидов. В обоих случаях ключевым для решения поставленных задач становятся российские компетенции в Информационных Технологиях решения сложных комплексных математических задач, анализе больших данных (Big Data) на современных и перспективных суперкомпьютерных системах. Значительные результаты в решении этих задач достигнуты в ИВМ РАН и ИО РАН (www.model.ocean.ru).

Развитие национальных систем оперативного прогноза состояния морской среды оказалось востребованным потребителями, связанными с решением прикладных задач.

По итогам мероприятий, направленных на создание отечественной системы оперативной океанологии, в 2021-2023 годах по заказу АО «К-Технологии» на основе разработок, проведенных при выполнении проекта РФ «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна», создан опытный образец прикладной системы оперативного анализа и прогноза полей Мирового океана и Арктического бассейна, который был испытан на вычислительном ресурсе МГИ РАН в 2021 году. Прикладная система дает оперативный анализ и прогноз трехмерных полей температуры, солёности, направления и скорости течений, а также границ и сплоченности морского льда в акватории Мирового океана и Арктического бассейна на срок до 10 суток. Затем она была инсталлирована на вычислительном кластере заказчика и протестирована в оперативном режиме в течение года. Таким образом в течение последних семи лет консорциумом организаций РАН и Росгидромета разработана методология построения отечественных систем оперативных морских прогнозов, близких по своим характеристикам к международным стандартам.

Параллельно продолжается развитие исследовательского центра морских прогнозов МГИ РАН на основе платформы НЕМО. В настоящее время в институте на основе модели НЕМО реализована функционирующая непрерывно исследо-

вательская система морских прогнозов Мирового океана и Азово-Черноморского бассейна. Продукты этой системы оказались востребованными при прогнозе распространения в Черном море загрязнений после аварии на Каховской ГЭС. Прогнозируемые поля течений были использованы для расчета траекторий переноса загрязнений от устья Днепра и показали, что загрязненные воды будут переноситься в западном направлении вдоль северного побережья Черного моря и не попадут в территориальные воды Российской Федерации. Результаты прогнозов МГИ РАН были использованы правительственными организациями страны при планировании курортного сезона в Крыму в 2023 году.

В настоящее время созданные в стране системы морских прогнозов при эксплуатации используют наблюдения из международных баз данных, что ограничивает их технологический суверенитет. Результаты работ по Программе фундаментальных исследований президиума РАН №1.2.50 на 2017-2020 гг. «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря», выполнявшейся специалистами МГИ РАН, ИО РАН, ИКИ РАН и ООО «Марлин – Юг», дают возможность развивать отечественные региональные наблюдательные системы, включающие наблюдения с отечественных ИСЗ, свободно дрейфующих поверхностных буев с термохалокосами и буев-профилемеров. Автономные поверхностные дрейфующие буи с термохалокосой с длиной косы до 100 метров апробированы на Черном и Баренцевом морях по программам МГИ РАН и ААНИИ (Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт) Росгидромета. Они изготавливаются ООО «Марлин-Юг» и позволяют контролировать относительно быстрые процессы в верхнем слое моря. Автономные зондирующие буи-профилемеры для оперативных измерений профилей температуры, давления и скорости звука разработаны в ИО РАН и апробированы в экспериментах на Черном море. Поверхностные дрейфующие буи с термохалокосами и зондирующие буи-профилемеры имеют возможность ретранслировать данные измерений через отечественные спутниковые системы сбора данных.

На основе результатов исследований по программе президиума РАН №1.2.50 на 2017-2020 гг. «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря» подготовлены предложения по созданию региональной системы оперативных прогнозов гидрофизических полей Баренцева моря, основанной на отечественных источниках информации.

Для задания внешнего атмосферного воздействия на морскую среду предлагается использовать данные национальной модели глобального среднесрочного прогноза погоды ПЛАВ (ПолуЛагранжева, основанная на уравнении Абсолютной завихренности). Блок решения уравнений динамики атмосферы разработан в ИВМ РАН и Гидрометцентре России. Даная атмосферная модель установлена на вычислительные средства ГМЦ и ГМС ВС Российской Федерации.

В 2021 году начались работы по созданию новой высокоточной системы прогноза Северного Ледовитого океана (СЛО), основанной полностью на российских компьютерных разработках (моделях океана и морского льда, методов усвоения, Информационных Технологиях). Работы ведутся совместно учеными ИВМ РАН, ИО РАН и ААНИИ Росгидромета. Планируется, что система будет обеспечиваться оперативными данными, получаемыми наблюдательными платформами ААНИИ,

в том числе с Ледостойкой платформы «Северный полюс» данными с отечественных ИСЗ. Система прогноза СЛО в дальнейшем будет инкорпорирована в систему прогноза Мирового океана с применением разработанной технологии вложенных меток (www.model.ocean.ru)

Для усвоения в системе прогнозов Баренцева моря наблюдений температуры поверхности моря и границ ледового покрова предлагается использовать данные наблюдений с отечественных ИСЗ, обрабатываемые в НПО «Планета».

Необходимо также развертывание системы оперативных наблюдений Баренцева моря, в основу которых могут быть положены описанные выше дрейфтеры с термохалокосами и буй-профилемеры, измеряющих вертикальные распределения температуры и солёности морской воды. Ввиду относительно небольшой глубины Баренцева моря возможно использование методологии, при которой при погружении буй достигает морского дна и остается на нем вплоть до следующего всплытия по расписанию. Такой позиционный буй-профилемер является свободно дрейфующим только в короткие промежутки времени и поэтому будет находиться в заданной акватории значительно дольше, чем свободно дрейфующий буй программы АРГО, который непрерывно перемещается под воздействием течения. Контактные наблюдения на дрейфтерах с термохалокосами и позиционных буй-профилемерах также будут ассимилироваться в системе прогнозов Баренцева моря. Опыт прогнозирования полей Арктического бассейна показывает, что для достижения точности прогнозов полей на уровне данных центра морских прогнозов программы Коперник будет достаточно поддерживать наблюдательную сеть из распределенных специальным образом пяти-шести дрейфтеров с термохалокосами и такого же количества буй-профилемеров.

Таким образом, на основе накопленного в МГИ РАН, ИВМ РАН, ИО РАН опыта в области морских прогнозов и ряда разработок консорциума организаций РАН и Росгидромета появляется возможность развертывания оперативных систем морских прогнозов в любых критически важных районах Мирового океана или в окраинных и внутренних морях России. Ядром систем морских прогнозов могут быть, в зависимости от требований заказчика, как отечественные вихреразрешающие модели океанической циркуляции, разработанные в ИВМ РАН и ИО РАН, так и платформа численного моделирования состояния океана НЕМО. Накопленный в течение 15 лет опыт взаимодействия с потребителями показывает, что продукты систем морских прогнозов могут быть использованы при решении разнообразных прикладных задач, а также для повышения эффективности принятия управленческих решений при реализации проектов, связанных с освоением морских ресурсов, проведения операций по спасению на водах, обеспечению безопасности мореплавания.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН В.И. БОГОЯВЛЕНСКИЙ «ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА»

Более чем полувековой опыт поиска, разведки и разработки месторождений углеводородов (УВ) в Арктической зоне Российской Федерации и прилегающих акваторий Северного Ледовитого океана свидетельствует об их уникальном ресурсном потенциале наряду с высокой уязвимостью экосистемы [1-3]. В 2023 г. несмотря на сложную геополитическую ситуацию результаты проведенных Россией комплексных геолого-геофизических исследований на акваториях Арктики последнего десятилетия дали надежные научные обоснования Комиссии ООН по границам континентального шельфа признать юрисдикцию России над огромной дополнительной частью Северного Ледовитого океана площадью около 1,7 млн км².

В изучение геологического строения и перспектив нефтегазоносности Циркумактического мегарегиона большой вклад внесли исследования многих российских ученых, из которых особо выделим академиков РАН И.С. Грамберга, А.Э. Конторовича, Н.П. Лаверова, В.Е. Хаина, Е.В. Артюшкова, В.А. Верниковского, А.Н. Дмитриевского, В.Д. Каминского и М.А. Федонкина, а также видных ученых Я.П. Маловицкого и В.П. Гаврилова, Б.В. Сенина, О.И. Супруненко и др. Значительный объем исследований выполнен учеными ИПНГ РАН, включая автора.

По данным ВНИИОкеанология по состоянию на начало 2023 г. средняя плотность изученности морей Арктики сейсморазведкой (км/км²) неравномерна и составляет: Баренцево и Печорское – 0,54; Карское – 0,26; Лаптевых – 0,17; Восточно-Сибирское – 0,08; Чукотское – 0,13. Кроме того, в первых трех морях проведен большой объем сейсморазведки 3D и пробурены 106 морских нефтегазопоисковых и разведочных скважин. По нашим расчетам в 2013 г. средняя глубина морских скважин в трех западных морях составляла 2 940 м (с учетом ряда аварийных и ликвидированных без решения геологической задачи), а по скважинам последнего десятилетия данный показатель снизился до 2 490 м. В морях Восточной Сибири нефтегазопоисковые скважины отсутствуют (скважина Центрально-Ольгинская 1 пробурена с берега Хатангского залива).

В мировой практике давно ведется целенаправленный успешный поиск месторождений УВ на больших глубинах, включая сложные для освоения зоны НРНТ (high pressure high temperature – высокие давление и температура), в результате чего в Мексиканском заливе на рекордных глубинах открыт ряд месторождений нефти, включая Tiber в 2009 г. (глубже 10 км) [1-4]. Представления о перспективах нефтегазоносности глубоких горизонтов шельфа Российской Арктики базируются, в основном, на данных сейсморазведки и бурении скважин на континенталь-

ной суше и некоторых островах. Морское бурение затруднено коротким летним сезоном и техническими проблемами, часть которых в Арктике связана с широким распространением на глубинах свыше 2-3 км аномально-высоких пластовых давлений (АВПД), многократно приводивших к аварийным и катастрофическим ситуациям на суше и акваториях Арктики [1-5].

Необходимость расширения минерально-сырьевой базы России для поддержания достигнутых объемов добычи УВ наряду с сохранением природной среды Арктики в условиях роста экономической активности и глобальных изменений климата отражена в ряде основополагающих документов экономического развития страны и требует расширения геологоразведочных работ (ГРР). К сожалению, по ряду обстоятельств ПАО «Газпром» и ПАО «НК «Роснефть» выполнили запланированные объемы поисково-разведочного бурения на огромных лицензионных участках на шельфе Арктики лишь в малой доле.

На данном этапе изученности российских акваторий Арктики для фазового состава ресурсов и запасов УВ установлено превалирование газовой составляющей вплоть до 80-85%. Наиболее перспективными представляются Баренцево, Печорское и Карское моря, что объясняется уникальными особенностями их геологического строения, а также наиболее высоким уровнем изученности. Не вызывает сомнений, что расширение ГРР внесет серьезные коррективы в понимание перспектив нефтеносности всего мегарегиона.

Несмотря на недостатки ГРР и задержку начала добычи УВ из субаквальных залежей на арктическом шельфе России по сравнению с США (Аляска, месторождение Endicott, 1987 г.), начиная с 2005 года Россия опережает все арктические страны по объемам годовой добычи УВ, что стало возможным благодаря начавшейся в 2003 году разработке Юрхаровского месторождения горизонтальными скважинами с берега [1-4].

В ИПНГ РАН проведен широкий комплекс исследований Циркумарктического мегарегиона, основной целью которых является получение принципиально новой информации о его нефтегазоносности с учетом новых геолого-геофизических и геохимических данных [3-10]. При этом были уточнены модели строения разновозрастного акустического фундамента, мощности осадочного чехла и построена схема (карта) катагенетической преобразованности по данным отражательной способности витринита (ОСВ) нефтегазоматеринских толщ (НГМТ) для нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных бассейнов (НГБ и ПНГБ) всего мегарегиона (рис. 1) [5]. Доказано, что садочные породы нижнего седиментационного этажа НГБ и ПНГБ находятся в зонах мезо- и апокатагенеза, что позволяет утверждать о наличии нефтяных и газовых окон генерации УВ и продуктивных интервалов в широком глубинном и стратиграфическом диапазонах. Обоснованы высокие перспективы ПНГБ: шельфа Южно-Чукотского, Новосибирско-Северо-Чукотского, Северо-Карского, Анабаро-Лаптевского, Восточно-Гренландского и Линкольна; котловин Канадской, Подводников и Нансена, а также континентального склона (рис. 1) [5].

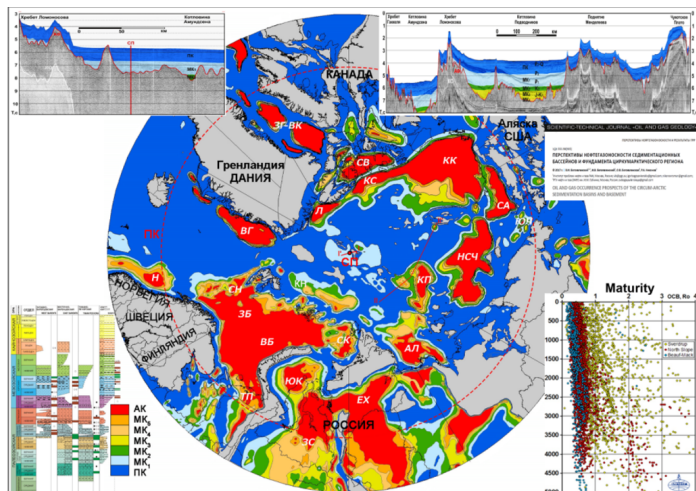


Рис. 1. Нефтегазоносные и потенциально нефтегазоносные бассейны Циркумарктического мегарегиона. Обозначения: катагенез нижней части седиментационного мегабассейна АК-ПК (красный, желтый, зеленый и голубой цвета – наиболее нефтегазоперспективные бассейны в порядке значимости; синий цвет – частично газоперспективные зоны; серый цвет – бесперспективные зоны); ПК – Полярный круг [5].

В 2017 г. впервые выполнен комплексный прогноз потенциальной нефтегазоносности кристаллического и консолидированного фундамента Восточного полушария Циркумарктического мегабассейна (суша и акватории России и Норвегии) и составлена схема размещения перспективных зон и объектов, ранжированных по вероятности обнаружения жидких и газообразных УВ (рис. 2) [5]. Технология этих исследований базируется на специально разработанной алгоритмической формализации комплекса закономерностей, выявленных в результатах предшествующих исследований автора ряда открытых месторождений в кристаллических фундаментах Норвежского и Южно-Китайского морей (Lupo, Белый Тигр, Дракон и др.) [5]. Основным поисковым признаком нефтегазоносности кристаллического фундамента является наличие его прямого контакта с НГМТ осадочных отложений с АВПД, что было успешно подтверждено в Южно-Китайском море в крупном Кылулонгском НГБ.

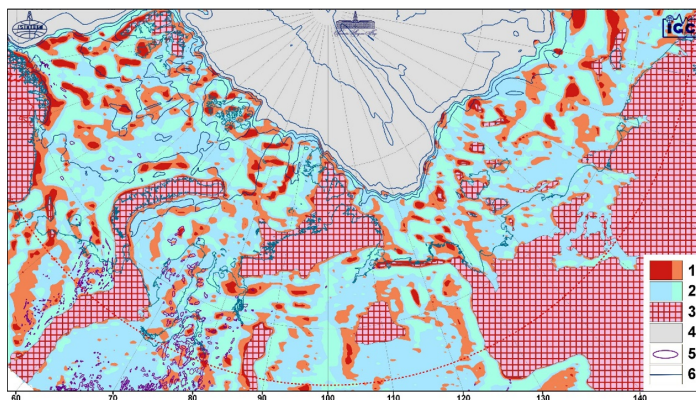


Рис. 2. Схема размещения перспективных зон и объектов потенциальной нефтегазоносности в кристаллическом и консолидированном фундаменте шельфа и сопредельной суши Восточного полушария Арктики. Условные обозначения: 1 – перспективные зоны; 2 и 3 – бесперспективные зоны прогибов (2) и обнажений пород фундамента (3); 4 – зоны недостатка информации в глубоководной части океана; 5 – месторождения УВ; 6 – изобаты [5].

о состояния субаквальной криолитозоны, при этом выявлена граница между преимущественным распространением мерзлых и талых пород (Южная и Северная зона) [7, 9-11]. Обосновано, что ряд выявленных сквозных таликов в Южной зоне имеет эндогенный генезис и приурочен к крупным дизъюнктивным нарушениям. Высокая сейсмическая активность в море Лаптевых улучшает их проницаемость, усиливает роль эндогенного фактора деградации мерзлоты и диссоциации ГГ и способствует активизации субвертикальной миграции глубинного газа в гидросферу и атмосферу. Картографическая схема ИПНГ РАН [11] подтверждена результатами бурения ряда стратиграфических скважин ПАО «НК «Роснефть», специалисты и руководство которого в 2024 г. отметили, что «результаты исследований обладают высокой научно-практической ценностью».

В итоге десятилетнего периода комплексных исследований на севере Западной Сибири и прилегающей акватории Карского моря ИПНГ РАН получена принципиально новая информация о газодинамических механизмах опасных взрывных процессов в термокарстовых полостях в массивах подземного льда, приводящих к мощным взрывам с образованием гигантских кратеров, которых обнаружено более 20 [12]. На полуострове Ямал проведены комплексные исследования в 15 экспедициях, поддержанных Правительством ЯНАО, РФФИ, ПАО «Газпром» и ПАО «НОВАТЭК». Результаты исследований основаны на комплексе геолого-геофизических методов, данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) из космоса и с применением БПЛА. При этом строятся 3D-4D модели, в том числе в виртуальной реальности, что позволяет сохранить уникальные объекты для возможных будущих исследований.

Впервые по данным ДЗЗ из космоса и аэрофотосъемки, на дне термокарстовых озер и рек севера Западной Сибири обнаружено свыше 5,5 тысяч зон мощных выбросов (пневматических выхлопов/взрывов) газа с формированием кратеров/покмарок. Кроме того, в прибрежных районах Карского моря (с Обской и Тазовской губами) обнаружено еще около 700 таких зон (преимущественно около полуострова Ямал на дне заливов). Отметим, что в отличие от долговременных озерных кратеров прибрежные существуют короткое время, так как быстро заполняются (замываются) осадками во время частых штормов. Наиболее широко распространены покмарки диаметром от долей до 10-15 метров (максимальные – до 30-45 м). Такие крупные кратеры могут образоваться только за счет мощных выбросов газа. Исследования данных ДЗЗ и специальных комплексных экспедиций на озере Открытие в 2019 г. показали, что зимой мощность подводных взрывов позволяет разбивать лед толщиной до 1,5-2 м и раскидывать огромные куски льда (до 10 м³) на расстояния свыше 50 м, при этом диаметр полыньи может достигать 40-50 м [12]. В итоге исследований построены картографические схемы риска выбросов газа.

В 2023 г. по данным ДЗЗ впервые для Арктики на дне ряда ямальских озер впервые обнаружены крупные поднятия с кратерами, генезис которых диагностирован грязевым вулканизмом [13]. В ходе экспедиции «Ямал - 2023» на центральном поднятии дна озера Лабварто собраны разновозрастные образцы грязебрекчии, подтверждающие его грязевулканический генезис. Результаты комплексного анализа позволяют утверждать о широком распространении грязевого вулканизма в Циркумарктическом мегарегионе, что дает новые представления о его геологических процессах.

Заключение

В итоге комплексных научных исследований ИПНГ РАН получены принципиально новые результаты о перспективах нефтегазоносности верхнего и нижнего уровней седиментосферы, а также в гетерогенном фундаменте. С учетом климатических изменений обоснован высокий уровень природных опасностей в Арктике и Мировом океане, обусловленных наличием криогидросферы и криолитосферы, широким распространением ГГ и интенсивной взрывной дегазацией Земли. На мелководном шельфе северных морей выполнено принципиально новое картирование распространения субаквальной мерзлоты, позволившее скорректировать районы потенциальной газогидратоносности в меньшую сторону. Полученные результаты неоднократно входили в перечни РАН важнейших научных достижений российских ученых.

Выполненные исследования позволяют утверждать о широкомасштабной перманентной и мощной импульсной эмиссии метана со дна не только термокарстовых озер и рек, но и шельфа Карского моря. Явления интенсивной дегазации Земли способны влиять на глобальные изменения климата и представляют несомненную угрозу для экосистемы и жизнедеятельности человека в Арктике.

Несмотря на достигнутые успехи в изучении и освоении ресурсов УВ Арктической зоне Российской Федерации и Северного Ледовитого океана требуется значительно расширить научные и производственные геолого-геофизические исследования, которые невозможны без многократного увеличения финансирования из средств госбюджета.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Повышение эффективности и экологической безопасности освоения нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли в условиях меняющегося климата» (122022800264-9).

Автор выражает признательность Правительству ЯНАО, ПАО «Газпром», ПАО «НОВАТЭК» за поддержку экспедиционных работ и сотрудникам руководимой им лаборатории «Шельф» за плодотворное сотрудничество.

Литература

1. Лаверов Н.П., Дмитриевский А.Н., Богоявленский В.И. Фундаментальные аспекты освоения нефтегазовых ресурсов Арктического шельфа России. // Арктика: экология и экономика. М: 2011, №1, с.26-37.
2. Богоявленский В.И. Циркумарктический регион: современное состояние и перспективы освоения нефтегазовых ресурсов шельфа. // Газовая промышленность, №11/666, 2011, с.88-92.
3. Богоявленский В.И., Полякова И.Д., Будагова Т.А., Богоявленский И.В. Геолого-геофизическая изученность и нефтегазоносность акваторий Циркумарктического сегмента Земли. // Геология нефти и газа, № 6, 2011, с.45-58.
4. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Никонов Р.А., Шустер В.Л. Перспективы нефтегазоносности Канадской глубоководной котловины и сопредельных акваторий Северного Ледовитого океана. // Арктика: экология, экономика, №4, 2015, с.57-65.

5. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Богоявленская О.В., Никонов Р.А. Перспективы нефтегазоносности седиментационных бассейнов и фундамента Циркумарктического региона // Геология нефти и газа, 2017, №5, с.5-20.

6. Bogoyavlensky V., Kishankov A., Yanchevskaya A., Bogoyavlensky I. Forecast of Gas Hydrates Distribution Zones in the Arctic Ocean and Adjacent Offshore Areas. Geosciences, 2018, 8/453. -17p.

7. Богоявленский В.И., Кишанков А.В., Казанин А.Г. Мерзлота, газогидраты и сипы газа в центральной части моря Лаптевых. // Доклады РАН, Науки о Земле, 2021, т.500, №1, с.83-89.

8. Богоявленский В.И., Кишанков А.В., Казанин А.Г. Неоднородности верхней части разреза осадочной толщи Восточно-Сибирского моря: залежи газа и следы ледовой экзарации. // Доклады РАН, Науки о Земле, 2022, т. 505, № 1, с. 5-10.

9. Богоявленский В.И., Кишанков А.В., Казанин А.Г. Мерзлота и газогидраты на Арктическом шельфе Восточной Сибири. // Доклады РАН, Науки о Земле, 2022, т.507, №1, с.110-117.

10. Bogoyavlensky V., Kishankov A., Kazanin A. Evidence of wide-scale absence of frozen ground and gas hydrates in the northern part of the East Siberian Arctic Shelf (Laptev and East Siberian seas). Marine and Petroleum Geology, 2022, v. 148, 106050. – 15 p.

11. Богоявленский В.И., Кишанков А.В., Казанин А.Г. Распространение субаквальной мерзлоты в море Лаптевых по данным сейсморазведки методом преломленных волн // Арктика: экология и экономика, 2023, т. 13, № 4, с. 501-515.

12. Богоявленский В.И. Фундаментальные аспекты генезиса катастрофических выбросов газа и образования гигантских кратеров в Арктике // Арктика: экология и экономика, 2021, т. 11, № 1, с. 51-66.

13. Богоявленский В.И. Новые данные о грязевом вулканизме в Арктике на полуострове Ямал. // Доклады РАН, Науки о Земле, Вулканология, 2023, том 512, № 1, с. 92–99.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН С.К. КОНОВАЛОВ
«БИОГЕОХИМИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ:
СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ
И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ»

Общеизвестно, что морские системы представляют собой сложные природные объекты, формирование и эволюция которых является совместным результатом физических, химических и биологических процессов. Кроме того, морские системы граничат с атмосферой на верхней и с литосферой на нижней границе, что определяет влияние метеорологических, геологических и геохимических процессов. В дополнение к естественным процессам, человеческая деятельность приводит к формированию мощных дополнительных потоков вещества и энергии, в первую очередь соединений углерода, азота и фосфора. Предпринимавшиеся на протяжении более чем столетней истории океанологических исследований попытки исследования индивидуальных физических, химических и биологических характеристик и процессов в морской среде приводили к стремительному росту объема результатов наблюдений. Современные массивы результатов океанологических и сопутствующих наблюдений вполне соответствуют понятию «Big Data». Несмотря на информационную обеспеченность и использование современных компьютерных технологий численного анализа и моделирования, развитие представлений о морских системах идет медленно. Использование накопленных данных ограничено, как правило, оценкой современного состояния и трендов изменений индивидуальных характеристик морской среды. Намного реже проводится междисциплинарный анализ данных, и еще реже анализ имеющихся данных проводится с использованием принципов экосистемного подхода. Прежде всего, это связано с тем, что требуется осмысление и интеграция знаний о различных по своей природе процессах в единое представление о функционировании морских систем.

Изменение гидрохимического режима вод, появление и распространение зон дефицита кислорода, смещение природных равновесий, снижение способности вод морских экосистем поглощать углекислый газ из атмосферы в настоящее время являются важными направлениями исследований, как вод Мирового океана, так и отдельных региональных экосистем, в том числе внутренних морей. Понимание фундаментальных причин и последствий этих глобальных изменений, а также выявление механизмов происходящих изменений являются актуальными проблемами современной океанологии.

Одним из удобных объектов исследования для изучения региональных природных циклов и систем равновесий, биогеохимических процессов при различных окислительно-восстановительных условиях является экосистема Черного моря. Имея меньший масштаб глубин и время отклика на любое внешнее воздействие по сравнению с водами Мирового океана, оно представляет собой естественную лабораторию и мини модель для изучения основных факторов и

процессов, определяющих структуру вод в условиях изменения климата и значительной антропогенной нагрузки.

В течение длительного времени экосистема Черного моря испытывала значительную антропогенную нагрузку на общем фоне увеличения средней температуры поверхностного слоя вод. В настоящее время при сохранении роста температуры поверхностного слоя вод, за счет снижения уровня антропогенного воздействия, здесь наблюдается процесс дистрофикации, который способствует возвращению системы Черного моря к своему естественному состоянию. Все эти переходы из одного уровня трофности в другой отражаются на гидрохимическом режиме его экосистемы, а также позволяют описать механизмы при переходе системы из одного состояния в другое, из одних окислительно-восстановительных условий в другие при воздействии различных факторов.

В свою очередь изучение гидрохимического режима вод позволяет дать оценку современного состояния экосистемы Черного моря, а комплексные исследования характеристик экосистемы Черного моря, включая придонный слой атмосферы, водную толщу и донные отложения, дают возможность изучить вклад различных факторов (в т.ч. биогеохимических и физических процессов) в формирование наблюдаемого режима вод. Полученные данные, в конечном итоге, можно перенести на другие экосистемы со схожими условиями, в т.ч. и для вод Мирового океана.

Черное море представляет собой типичную двухслойную структуру с водами пониженной солености в верхнем слое, подверженном влиянию речного стока и сезонных колебаний температуры, и водами повышенной солености в нижнем слое, подверженном влиянию поступающих с нижнебосфорским течением мраморноморских вод. Их разделяет слой вод основного пикноклина, наличие и характеристики которого определяются в первую очередь изменением солености.

Основной пикноклин существенно ограничивает интенсивность вертикального обмена, а значит и потока кислорода в более глубокие слои вод. В тоже время наличие пикноклина сказывается в меньшей степени на скорости оседания, а значит и потоке взвешенного органического вещества. Как результат, кислород исчезает на той глубине, где его потребление в различных окислительно-восстановительных процессах превышает поступление. Окисление оседающего органического вещества за счет сульфатов морской воды приводит к выделению сероводорода и его накоплению в анаэробном слое вод моря.

Учитывая, что кислород является сильным окислителем, а сероводород – сильным восстановителем, их наличие, соответственно, в верхнем и нижнем слое вод приводит к изменению окислительно-восстановительного потенциала от $\sim +400$ до ~ -200 мВ. Столь широкий диапазон изменений окислительно-восстановительного потенциала определяет условия существования спектра окисленных и восстановленных форм различных элементов: углерода от углекислого газа и карбонатов до метана, азота от нитратов до аммония, серы от сульфатов до сульфидов, марганца от Mn(IV) до Mn(II), железа от Fe(III) до Fe(II), а также многих других микроэлементов. Их вертикальное распределение зависит в значительной степени от распределения и концентрации кислорода и сероводорода, которые, в свою очередь, существенно зависят от глубины залегания и характеристик основного пикноклина, регулирующего их вертикальные потоки. Таким образом, присутствие основного пикноклина влияет на вертикальное и пространственное

распределение не только кислорода и сероводорода, но и других биогеохимических характеристик.

Выполненные исследования показали, что изменения в биогеохимической структуре вод аэробной зоне Черного моря являются результатом расходования кислорода на окисление органического вещества, экспортная продукция которого увеличилась из-за высокой скорости эвтрофикации моря в период 1970-х – 1980-х годов.

Аэробная и анаэробная зона Черного моря разделены субкислородным слоем вод, в котором концентрация и вертикальный градиент кислорода достигают предельно малых значений. Совместный анализ данных о многолетней изменчивости биогеохимической структуры вод основного пикноклина и анаэробной зоны Черного моря позволил показать и подтвердить, что:

а) взаимодействие кислорода и сероводорода не является основным процессом, определяющим структуру и эволюцию субкислородной зоны Черного моря;

б) субкислородная зона Черного моря является результатом особенностей формирования вертикального и горизонтального потоков кислорода, с одной стороны, и вертикальных потоков взвешенного органического вещества и сероводорода – с другой стороны;

в) в то время как текущее положение верхней границы субкислородной зоны отражает равновесное состояние вертикального потока кислорода и потока оседающего взвешенного вещества, положение нижней границы слабо зависит от величины вертикального потока кислорода и определяется соотношением потока сероводорода и горизонтального потока кислорода с трансформированными мраморноморскими водами в Черном море;

г) горизонтальный поток кислорода с водами Босфорской смеси определяет не только динамику нижней границы субкислородной зоны и само ее существование, но и окисление внутри анаэробной зоны не менее 40% общего количества окисляемого в Черном море сероводорода.

Анаэробная зона Черного моря характеризуется присутствием в высоких концентрациях не только сероводорода, но также аммония, фосфатов, силикатов, неорганического углерода, восстановленных форм марганца, железа, метана и других восстановленных соединений. Однако именно сероводород является тем компонентом, который в первую очередь определяет «экологическую опасность» анаэробных вод.

Экспедиционные исследования последних лет позволили обнаружить не только эволюцию положения границы распространения сероводорода относительно условной плотности, но и значительные аномалии вертикального распределения сероводорода в толще вод, которые связаны как с наличием источников, так и с его интенсивным локальным потреблением в анаэробной зоне моря и донных отложениях.

Потребление сероводорода в анаэробной зоне связано, прежде всего, с поступлением мраморноморских вод в Черное море с нижнебосфорским течением приводит к вовлечению богатых кислородом вод ХПС и образованию смеси, стекание которой по склону шельфа приводит к формированию интрузий и потоку кислорода в субкислородную и анаэробную зону моря. Перемещение донных осадков по материковому склону из аэробной и субкислородной в анаэробную зону моря

приводит к окислению сероводорода, причем окислительный потенциал таких донных осадков может приводить к полному исчезновению сероводорода.

Поступление значительных количеств органического вещества с северо-западного шельфа приводит к более интенсивной продукции сероводорода и смещению границы его появления в слои вод с меньшими значениями условной плотности. Аналогичные процессы должны происходить при изменении потока органического вещества в результате эвтрофикации Черного моря.

До недавнего времени авторы публикаций по проблемам экосистемы Черного моря обсуждали, как правило, локальные явления и последствия эвтрофикации моря, но не обсуждали влияние эвтрофикации на биогеохимическую структуру моря. Вместе с тем, представляется достаточно очевидным, что 5-6-кратное увеличение поступления соединений только неорганического азота в квазизамкнутую акваторию Черного моря должно приводить к значительному увеличению интенсивности первично-продукционных процессов, увеличению экспортной продукции, увеличению скорости окисления и трансформации органических форм элементов в неорганические, изменениям биогеохимической структуры моря. Например, наблюдавшееся в 1970-е и 1980-е годы увеличение запаса биогенных элементов, которое было стехиометрически пропорционально увеличению дефицита кислорода, отчетливо указывало на увеличение продукции и потока органического вещества и роль этого процесса в эволюции биогеохимической структуры Черного моря.

Продукция сероводорода в период интенсивной эвтрофикации могла достигать $(11-25) \cdot 10^{12}$ г/год, что закономерно приводило к росту запаса сероводорода в анаэробной зоне и, как следствие, подъему ее границ. Данные прямых измерений указывают на рост запаса сероводорода со скоростью до 0.5% в год.

В отличие от анаэробной зоны моря, для которой возможны изменения лишь на масштабах десятилетий и столетий, для аэробной зоны Черного моря не только возможны, но и наблюдаются существенные сезонные и межгодовые изменения биогеохимической структуры. Причем эти изменения происходят в результате наблюдаемых изменений климата и уровня совокупной антропогенной нагрузки.

В заключение необходимо подчеркнуть, что увеличение продукции сероводорода не может привести к немедленному эквивалентному подъему границы анаэробных вод. Установленная закономерность изменения с глубиной количества кислорода, поступающего с интрузиями трансформированных мраморноморских вод, создает буферный эффект для подъема границы его распространения, что является естественным фактором сдерживания для развития процесса увеличения объема анаэробной зоны. Тем не менее, наблюдаемое медленное смещение границы распространения сероводорода в слои с меньшими значениями условной плотности и увеличение концентраций сероводорода в анаэробной зоне подтверждает выводы данной работы о возможности изменения и структурной перестройки биогеохимической структуры бассейна, уменьшения толщины слоя кислородсодержащих вод моря, снижения репродукционного потенциала и экологической устойчивости Черного моря.

**ПРОФЕССОР РАН М.А. НОСОВ,
ДОКТОР ФИЗИКО –
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК В.К. ГУСЯКОВ,
КАНДИДАТ ФИЗИКО –
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК Т.Н. ИВЕЛЬСКАЯ,
КАНДИДАТ ФИЗИКО –
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК Д.В. ЧЕБРОВ
«ВОЛНЫ ЦУНАМИ И ПРОБЛЕМА
БЕЗОПАСНОСТИ ПОБЕРЕЖИЙ РОССИИ»**

Волны цунами возникают в океанах, морях и водоемах суши в результате сильных землетрясений, оползней и обвалов, вулканических извержений, а также метеорологических причин. Человеческие жертвы, колоссальный материальный ущерб и возможность тяжелых экологических последствий при разрушении береговой инфраструктуры, – все это позволяет говорить о цунами как об одной из наиболее опасных природных катастроф.

В СССР изучение волн цунами было инициировано после катастрофы 4 ноября 1952 года в Северо-Курильске. Землетрясение с магнитудой 9.0Mw вызвало трансокеанское цунами с высотами волн на Гавайях до 6 м, на побережье Чили – до 3 м. В ближней зоне – на побережье Курильских островов и Камчатки – высоты волн достигали 15-20 метров, а число погибших по разным оценкам составило от 10 до 14 тыс. человек.

Через четыре года после катастрофы в Северо-Курильске Совет Министров СССР издал постановление № 1434 от 20.10.1956 г. «О мероприятиях по организации своевременного оповещения населения Дальнего Востока о морских волнах, вызываемых подводными землетрясениями (цунами)». Этот документ послужил законодательной основой для создания на Дальневосточном побережье Службы предупреждения о цунами (СПЦ).

Модернизация действующей на Дальневосточном побережье Российской Федерации СПЦ была проведена в 2006-2010 гг. в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 г.». За более чем 10 лет работы, модернизированная СПЦ продемонстрировала свою работоспособность и достаточную заблаговременность выпуска тревог. Ею были отработаны такие сильнейшие события как Чилийское землетрясение 2010 г., землетрясение Тохоку 2011 г., Охотоморское землетрясение 2013 г., Ближне-Алеутское землетрясение 2017 г., а также ряд других событий. Следует, однако, отметить, что период с 2011 по 2023 гг. оказался самым спокойным в отношении числа и уровня потенциально опасных цунами-событий в Дальневосточном регионе за все время инструментальных наблюдений (с начала 1950-х годов). Ложное ощущение незначительности угрозы цунами создает также тот факт, что последние документированные жертвы от цу-

нами на Дальневосточном побережье Российской Федерации были при Камчатском цунами 4 ноября 1952 года, то есть почти 70 лет назад.

После модернизации в 2006-2010 гг. российская СПЦ фактически не развивалась ни в техническом, ни в научно-методическом плане. Оборудование СПЦ постепенно устаревает и выходит из строя, что ведет к уменьшению защищенности населения Дальнего Востока России. Без надлежащего обеспечения наблюдениями остаются акватория Охотского моря и район Средних Курил, где возможны сильнейшие цунамигенные землетрясения. Для нормального функционирования СПЦ необходимо ежегодное целевое выделение средств на техническое обслуживание измерительной и коммуникационной аппаратуры, а также на ремонтно-восстановительные работы.

В Черном море, где за последние две тысячи лет произошли более 50 цунами, СПЦ отсутствует в принципе. Плотная застройка побережья, интенсивная хозяйственная деятельность, быстрое развитие туристической, привлекающей большие потоки людей в курортные зоны, делают черноморское побережье чрезвычайно уязвимым даже к волнам сравнительно небольшой амплитуды (~1 м).

В большинстве случаев (порядка 3/4) волны цунами вызываются подводными землетрясениями. Количественная связь между магнитудой землетрясения и силой цунами (интенсивностью по шкале Соловьева-Имамуры) оказывается сложной и неоднозначной. Магнитудно-географический критерий, используемый в работе СПЦ и построенный на основе этой связи, отличается низкой надежностью. В этой связи особую роль в СПЦ играет гидрофизическая подсистема, включающая в себя как береговые мареографы, так и глубоководные станции уровня моря, вынесенные в открытый океан. Именно такие глубоководные станции дают возможность заблаговременно определить параметры волны цунами и сделать обоснованное заключение об опасности, которую эта волна будет представлять на побережье. В настоящее время СПЦ Российской Федерации не имеет собственных глубоководных станций уровня моря.

Помимо усилий, направленных на совершенствование методов оперативного прогноза цунами и на техническое развитие СПЦ, важнейшее значение имеет работа по созданию карт цунамиопасности. В рамках проекта РНФ-14-17-00219 была создана обзорная карта цунамиопасности Дальневосточного побережья Российской Федерации. Но, в силу присущей волнам цунами значительной изменчивости высот залеска вдоль побережья, карты должны быть не только обзорными, но и детальными по каждому защищаемому пункту побережья. Создание таких карт требует данных высокого разрешения о батиметрии океана и рельефе береговой зоны, а также значительных вычислительных ресурсов.

Еще одной примечательной особенностью волн цунами является тот факт, что при доминирующем числе цунамигенных событий сейсмического происхождения (около 75%) годовые максимальные высоты цунами, наблюдавшиеся в Мировом океане с 1900 г. по 2023 г., только в 59% случаев принадлежат сейсмическим цунами. Доля максимумов для несейсмических цунами оказывается весьма высокой 41% (16% – оползневые, 9% – вулканические, 8% – метеорологические,

8% – неизвестного генезиса). При этом рекордные высоты заплесков принадлежат оползневым и вулканогенным цунами.

Оползневые цунами в ряде случаев приурочены не к морям и океанам, а к крупным рекам, озерам и водохранилищам. Например, Бурейское ледяное цунами, произошедшее в 2018 г., имело высоты волн до 90 м. В этой связи при хозяйственном освоении территорий Российской Федерации следует принимать во внимание возможность мощных цунами оползневого происхождения на крупных водоемах суши.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН А.А. РОДИОНОВ
«МОДЕЛИ ГИДРОМЕХАНИКИ
МОРСКОЙ СРЕДЫ И РЕШЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ
ЗАДАЧ ВМФ. ВЕХИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

Традиции глубокой взаимосвязи фундаментальной науки и Российского Флота были заложены с момента основания Петром I Академии наук и искусств [1, 2]. Среди первых академиков, сформировавших основы морской науки, были Д. Бернулли и Л. Эйлер. Д. Бернулли в фундаментальном труде «Гидродинамика, или Записки о силах и движениях жидкостей» (1738 г.) ввел в оборот термин «гидродинамика» и подчеркивал, что основы этой науки были заложены в России. Наряду с многочисленными физико-математическими работами по механике жидкости Л. Эйлер по заданию Академии систематизировал вопросы сопротивления судов, устойчивости кораблей на волнении, действия рулей и вёсел, которые он изложил в труде «Морская наука» (1749 г.). Это было время начала большого пути по становлению России как морской державы. В дальнейшем традиции решения прикладных морских задач на строгой математической основе продолжили М.В. Остроградский, В.Я. Буняковский, П.Л. Чебышев, В.А. Стеклов.

Академик Э.Х. Ленц еще студентом под руководством капитана-командира О.Е. Коцебу (1823-1826 гг.) положил начало практической океанографии в России. Б.С. Якови в 1838 г. разработал и создал лодку с электрическим движителем, почти на сто лет опередив развитие морской техники. Д.И. Менделеев был инициатором постройки опытового бассейна для отработки ходовых характеристик кораблей. Академик А.Н. Крылов, наряду с разработкой основ теории корабля, вместе с И.Г. Бубновым возглавил исследования в бассейне.

В двадцатом веке Академия наук обеспечила решение определяющих прикладных задач создания и эффективного применения надводных кораблей и подводных лодок, морского оружия и технических средств. Фундаментальный вклад в создание Флота страны внесли академики В.В. Шулейкин, П.П. Ширшов, Л.М. Бреховских, А.П. Александров, С.Н. Ковалев, А.С. Монин и др.

Модели гидромеханики и их приложения в интересах решения задач ВМФ

Созданные в последние три столетия модели гидромеханики лежат в основе описания природных процессов и явлений, освоения человеком Земли, ее недр, гидро- и атмосферы, разработки новых технологий. Для рационального планирования человеческой деятельности, в т.ч. в морской сфере, необходимо адекватно понимать и корректно применять на практике методы и средства, основанные на различных моделях гидромеханики. В таблице 1 приведены в обобщенном виде основные модели морской среды, физические процессы и явления и задачи ВМФ, решаемые в реальных условиях на основе моделей.

Табл. 1. Основные модели морской среды, физические процессы и явления и задачи ВМФ, решаемые в реальных условиях на основе моделей

Модели морской среды	Процессы и явления в морской среде	Задачи ВМФ
Идеальная	Волновые процессы в морской среде	– безопасность плавания; – применение оружия и технических средств
Вязкая несжимаемая (в т.ч. турбулентная)	– Волно-вихревые процессы при обтекании морских объектов. – Гидрофизические процессы и явления в широком диапазоне условий.	– освещение подводной обстановки; – обеспечение скрытности и защиты объектов; – применение оружия и технических средств; – навигация; – безопасность плавания
Вязкая сжимаемая (в т.ч. турбулентная)	Гидроакустические и гидрофизические процессы и явления	
Нелокальная с запаздыванием	Неравновесные процессы и движения (течения) сложноструктурированных сред	применение высокоскоростных образцов оружия

Модель идеальной жидкости и закономерности морского волнения

Волнение на морской поверхности в диапазоне энергонесущих волн может быть корректно описано в рамках модели идеальной жидкости. Современные подходы прямого численного моделирования морского волнения позволяют получать новые результаты по закономерностям волновых процессов. Так, в работе [3] реализовано моделирование на основе полных уравнений потенциальной динамики жидкости со свободной поверхностью. Большой ансамбль реализаций поверхности и потенциала позволил оценить статистические характеристики морского волнения, включая спектры притоков и стоков энергии, нелинейных взаимодействий, а также моменты высокого порядка. В работе показано, что ветровое волнение обладает свойством универсальности: нормированные с использованием энергии характеристики волнового поля мало изменяются по мере развития волнения.

Модель вязкой несжимаемой жидкости

Важное прикладное значение имеют задачи, связанные с обтеканием рельефа дна, движущихся или неподвижных подводных объектов [4-6]. Для решения таких задач в работе [6] предложена гибридная модель RANS-LES, включающая уравнения, осредненные по Рейнольдсу (RANS – Reynolds Averaged Navier Stokes) и метод моделирования крупных вихрей (LES – Large Eddy Simulations). На примере обтекания подводного препятствия (полусферы диаметром 20 м) двуслой-

ным потоком со скоростью 0,5-1 м/с показано, что наблюдается инвариантность процессов обтекания препятствия при изменении скорости набегающего потока – числа Струхала $Sh = 0,75$ ($Fr = 0.0017$), $0,65$ ($Fr = 0.0068$) и $Sh = 0.66$ ($Fr = 0.0272$) меняются незначительно при изменении числа Фруда (Fr) на порядок. Характерные масштабы вихревых структур лежат в пределах 0,5-1 диаметра препятствия. Длины внутренних волн находятся в диапазоне 2-3 диаметров препятствия. При скорости потока, сравнимой со скоростью свободных внутренних волн, вихревые структуры вносят значимый вклад в волновое поле. С увеличением скорости набегающего преобладают волны от вихревых структур.

Аналогичный метод применен при решении задачи движения тела в заданном районе моря. На рис. 1 приведена схема расчета. Для района моделирования рассматриваются гидрофизические поля, эволюционирующие под действием природных факторов, а затем в этот район включается объект (стационарный или мобильный) со своими физическими полями. На рис. 2 показаны возмущения волнового и вихревого характера, возникающие при обтекании стационарного объекта – подводного препятствия.

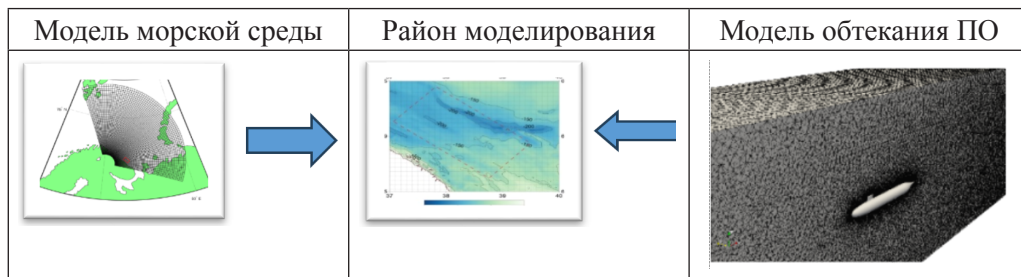


Рис. 1.

а - скорость потока 0,5 м/с,
б - скорость потока 1 м/с

Вихревые и волновые
структуры за препятствием,
расчет RANS-LES:

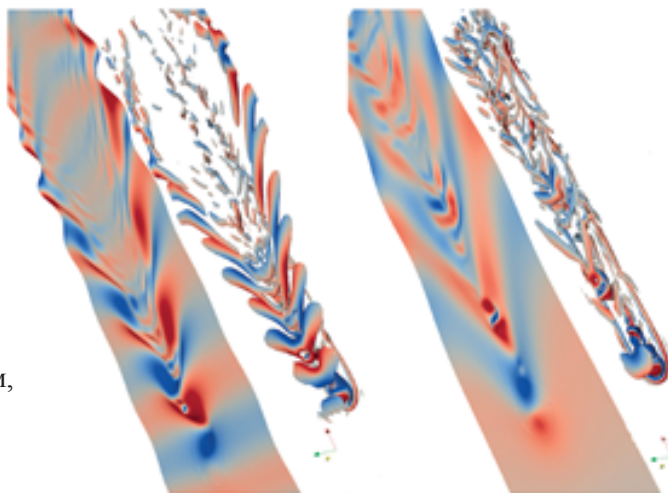
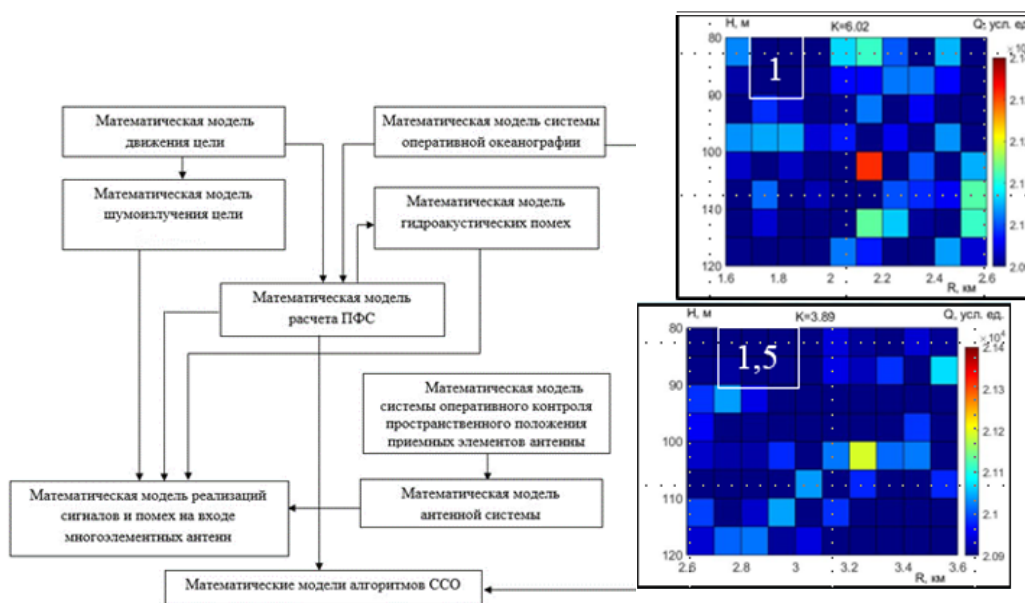


Рис. 2. Возмущения волнового и вихревого характера, возникающие при обтекании стационарного объекта – подводного препятствия

Необходимость повышения эффективности гидроакустических средств ВМФ требует либо совершенствования технических характеристик комплексов и станций (значительные финансовые затраты), либо рационального учета гидролого-акустических условий. Проработка второго подхода может быть основана на совместном моделировании гидроакустических и гидрологических полей (в т.ч. гидроакустических средств и канала распространения энергии); реализации лучевых, волновых моделей в гидроакустике и высокоразрешающих негистростатических гидродинамических моделей; разработке и внедрении алгоритмов обработки информации, согласованных со средой. Такой подход реализован в программно-аппаратном комплексе (ПАК) в работе [7]. На рис. 3 показана схема математической модели функционирования гидроакустических средств в заданном районе океана (на рисунке ПФС – передаточная функция среды, ССО – согласованная со средой обработка).

Проведение серийных расчетов на ПАК позволило оценить помехоустойчивость алгоритмов ССО по отношению к природным и техногенным факторам и оценить метрологические требования к выходным характеристикам системы оперативной океанографии.



Отклики алгоритмов на условных расстояниях 1, 1.5

Рис. 3. Схема математической модели функционирования гидроакустических средств в заданном районе океана (на рисунке ПФС – передаточная функция среды, ССО – согласованная со средой обработка)

Процессы, протекающие на высоких скоростях, сильных пространственных неоднородностях, и сложноструктурированные среды при эволюции сопровождаются целым комплексом многостадийных и многомасштабных эффектов обмена импульсом и энергией. Попытки применить традиционные гидромеханические модели в этих случаях приводят к серьезным ошибкам и, в целом, к некорректному описанию закономерностей.

В работах [8-11] разработаны основы и предложены нелокально гидродинамические модели для описания сильнонеравновесных процессов в газообразных, жидких и твердых телах. На примере высокоскоростного движения в морской среде показано [9, 11], что закономерности движения тел с околосвуковыми скоростями корректно описываются в рамках нелокальной гидродинамики.

Выводы

Разработанные за три столетия модели гидромеханики позволяют корректно решать актуальные для ВМФ задачи в рамках применимости моделей.

«Модернизация» классических моделей гидромеханики для решения задач за рамками их применимости позволяет в ряде случаев достичь практических результатов. Вместе с тем за пределами применимости моделей невозможно корректно описать физические закономерности.

Необходимо развивать новые подходы в гидромеханике на основе фундаментальных исследований взаимосвязей на микро- и макроуровнях описания.

Литература

1. Наука Санкт-Петербурга и морская мощь России. Т. 1. СПб.: Наука, 2001. 534 с.
2. Наука Санкт-Петербурга и морская мощь России. Т. 22. СПб.: Наука, 2003. 885 с.
3. Родионов А.А. и др. Российская академия наук в 300-летней истории становления гидрофизики и океанологии в Санкт-Петербурге – Ленинграде / Под ред. А.А. Родионова. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. 108 с.
4. Родионов А.А., Андросов А.А., Фофонова В.В., Кузнецов И.С., Вольцингер Н.Е. Моделирование приливной динамики северных проливов курильской гряды // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2021. Т. 14, № 3. С. 20–34. doi: 10.7868/S2073667321030023.
5. Вольцингер Н.Е., Андросов А.А. Моделирование длинноволновой негидростатической динамики на горном рельефе. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. 169 с.
6. Ванкевич Р.Е., Родионов А.А. Численное исследование закономерностей генерации субмезомасштабных возмущений при обтекании элементов подводного рельефа // 2020. Т. 13, № 4. С. 27–38. doi: 10.7868/S2073667320040036.

7. Родионов А.А., Малеханов И.А., Сергеев В.А., Никитин Д.А., Ванкевич Р.Е., Дёмин С.П., Кулинич В.В. Компьютерное моделирование согласованной со средой обработки гидроакустических сигналов // ГА-2024 (в печати).

8. Хантулева Т.А. Нелокальная теория неравновесных процессов переноса. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2013.

9. Ищенко А.Н. Исследование высокоскоростного движения суперкавитирующих тел в воде и их взаимодействия с подводными преградами / А.Н. Ищенко, Р.Н. Акиншин, С.А. Афанасьева, И.Л. Борисенков, В.В. Буркин, А.С. Дьячковский, Р.Ю. Монахов, А.А. Родионов, М.В. Хабибуллин // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 5-10.

**ДОКТОР ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
С.Г. СКОЛОТНЕВ, С.В. БЕЛЬЧИКОВ, А.В. КОРНИЙЧУК,
АКАДЕМИК РАН М.А. ФЕДОНКИН**

**«РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ
ПОДНЯТИЯ АЛЬФА-МЕНДЕЛЕЕВА
С НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ: КЛЮЧЕВОЕ ЗНАЧЕНИЕ
ДЛЯ ОДОБРЕНИЯ КОМИССИЕЙ ООН
ЗАЯВКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НА РАСШИРЕНИЕ ВГКШ
В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ»**

Одной из важных геополитических задач России в XXI веке является расширение внешней границы континентального шельфа (или ВГКШ) в Арктике. Участок акватории Северного Ледовитого океана (или СЛО) площадью около 1.2 млн км² может быть включен в экономзону России согласно статьи 76 Конвенции по морскому праву при условии, что поднятие Менделеева, хребет Ломоносова и впадины Подводников и Макарова имеют земную кору континентального типа. Работы по подготовке соответствующей Российской Заявки в Комиссию ООН по континентальному шельфу выполняло Министерство природных ресурсов и экологии в лице подведомственных институтов и организаций: ВНИИОкеангеология, ВСЕГЕИ, СЕВМОРГЕО, МАГЭ и др. при участии специалистов Российской академии наук.

С этой целью было проведено несколько научно-исследовательских экспедиций, в результате которых получен большой объем материалов. В частности, общая длина выполненных профилей составляет: сейсмических – более 23 000 км, батиметрических – 35 000 км, гравиметрических – более 11 000 км, глубокого сейсмического зондирования – более 4 000 км.

В ходе подготовки Заявки остро встал вопрос о происхождении поднятия Менделеева. Одни исследователи считают, что это океаническое плато, возникшее на океанической коре Амеразийского бассейна, раскрывавшегося 150-120 млн лет назад (Bruvoll et al., 2012, Lower et al., 2002, Grantz et al., 2011, Jokat et al., 2003), другие признают его пассивной континентальной окраиной с утонченной корой (Lebedeva-Ivanova et al., 2006, Поселов и др., 2011, 2012, Кашубин и др., 2013, Лобковский и др., 2011, Miller et al., 2006, Scotese et al., 2011, Никишин и др., 2015). Геофизические дистанционные методы не дают однозначного ответа на этот вопрос. Точку в этой дискуссии должно было поставить получение и изуче-

ние коренных пород со склонов этого поднятия. Однако много факторов затрудняют проведение работ по опробованию дна в этом районе с тяжелыми климатическими условиями: постоянный ледовый покров, перенос каменного материала льдами с суши, широкое распространение чехла молодых осадков. Тем не менее, донно-каменный материал со склонов поднятия Менделеева неоднократно поднимался (Кабанов и др., 2004). Большой его объем был получен в экспедиции Арктика-2012 в ходе драгирования с борта ледокола «Капитан Драницын» и даже при глубоководном бурении, хотя полученные керны незначительны: около 1,6 м на две пробуренные скважины (Морозов и др., 2013). Впервые в работах этой экспедиции участвовала научно-исследовательская подводная лодка (в дальнейшем НИПЛ) с Е.А. Гусевым на борту в качестве геолога-эксперта. С ее помощью взято несколько обломков с поверхности осадков.

Однако, поскольку большинство арктических исследователей убеждены, что при драгировках на акватории СЛО поднимаются продукты ледового разноса, полученные материалы не были приняты Комиссией ООН в качестве доказательной базы Российской Заявки.

Попытки взятия коренных пород со дна СЛО с помощью НИПЛ были продолжены. Основываясь на опыте экспедиции Арктика-2012, военными специалистами были внесены тактико-технические изменения для повышения эффективности НИПЛ в данном виде работ, а геологами Геологического института РАН и ООО «Геослужба ГИН РАН» разработана методика работ, нацеленная на получение горных пород из коренных обнажений с помощью арсенала средств НИПЛ. На борту НИПЛ находится многолучевой эхолот для изучения рельефа дна и обитаемый аппарат, способный совершать автономное плавание в глубоководных условиях, снабженный акустическим профилографом, прожекторами, видеокамерами и манипуляторами.

Разработанная методика состоит из 7 последовательных этапов: 1) Выбор полигонов пробоотбора; 2) Батиметрическая съемка полигона и выбор перспективных склонов; 3) Акустическое профилирование перспективных склонов и выбор перспективных участков; 4) Видеоконтакт с дном в районе перспективных участков с последующим подходом к коренному обнажению для его анализа и видеорегистрации; 5) Отбор горных пород коренных обнажений дна манипуляторами с видеорегистрацией процесса отбора и видеодокументированием образцов; 6) Идентификация и фотодокументация собранных пород; 7) Лабораторное изучение образцов и составление геологических разрезов.

Данная методика была применена и совершенствовалась в ходе двух экспедиций с участием НИПЛ в 2014 и 2016 годах на 3-х полигонах: в юго-западной и центральной частях поднятия Менделеева и на г. Трукшина (хребет Альфа). Выбор полигонов опробования производился при анализе сейсмических профилей, на которых находились участки с крутыми склонами с выходом на дно пород акустического фундамента.

На каждом полигоне было сделано по несколько профилей опробования, направленных снизу вверх вкрест простирания склона. Среди собранных пород преобладают осадочные (73%): доломиты, известняки, песчаники. Магматические породы представлены базальтами, андезитами, туфами, долеритами и габбро.

В ходе лабораторных работ были проведены петрографическое, литологическое, рентгенофазовое, петрохимическое изучение образцов, измерения концентраций редких и рассеянных элементов методом ICP MS, измерения отношений стабильных изотопов в них. Для определения возраста осадочных пород были сделаны обширные палеонтологические исследования. Для магматических образцов были проведены U-Pb и Ar-Ar методы определения возраста.

Данные исследования проводились с привлечением специалистов ведущих научно-исследовательских институтов, в частности, ГИН РАН, ИГЕМ РАН, ОИГГМ СО РАН, ПИН РАН, ВСЕГЕИ, Австралийского национального университета.

Возраст осадочных пород был определен на основании анализа родового и видового разнообразия акритарх, спор, пыльцы, сколекодонтов, диноцист, конodontов, криноидей, фораминифер и брахиопод, выделенных из карбонатных пород. Выявлены три этапа их образования: поздний ордовик- поздний силур (известняки, доломиты), средний-поздний девон (известняки), ранний мел (известковистые песчаники).

Петрографическое изучение наиболее распространенных раннепалеозойских осадочных пород показало, что они связаны между собой промежуточными разностями: известняк – песчаный известняк – кварцитопесчаник, с другой стороны, известняк – доломитизированный известняк – доломит, в свою очередь, доломит - песчаный доломит – кварцитопесчаник с доломитовым цементом. Таким образом, данные породы представляют единый геологический разрез и в соответствии с их литолого-фациальным обликом формировались в мелководных условиях.

Среди магматических пород выделяются разности нормальной щелочности: базальты юго-западной части поднятия Менделеева, долериты из центральной части этого поднятия, микрогаббро с г. Трукшина; и умеренно-щелочные породы, образующие ряд: трахибазальты г. Трукшина – трахиандезитобазальты центральной части и трахиандезиты юго-западной части поднятия Менделеева. Умеренно щелочные породы представляют вулканы магматической провинции HALIP, широко распространенные на островах Арктики. По изотопно-геохимическим данным они относятся к породам близким к вулканитам континентальных рифтов, т.е. сформировались на континентальной коре. При этом они ассимилировали вещество этой коры, поскольку их изотопные составы Nd и Sr отклоняются от тренда мантийной корреляции в сторону составов пород континентальной коры.

Возраст вулканических пород умеренно щелочной серии определен U/Pb изотопно-геохронологическим методом по зернам циркона, выделенным из трахиандезитобазальтов. Он составляет 110-114 млн лет.

По итогам изучения состава и возраста осадочных и магматических пород, а также их положения на склоне был составлен сводный геологический разрез поднятия Менделеева. Были выделены: верхнеордовикско-силурийская толща (445-420 млн лет) видимой мощностью 450 м, сложенная кварцитопесчаниками, доломитами и известняками; средне-верхнедевонская толща (380-360 млн лет) известняков и песчаников мощностью около 120 м; раннемеловая толща (баррем-апт) (120-110 млн лет), сложенная песчаниками, туфами и лавами основного и среднего состава, мощностью около 100 м. Магматические породы раннемело-

вого возраста также слагают силлы. Реконструированный разрез акустического фундамента поднятия Менделеева близок разрезу ниже-среднепалеозойских и меловых образований о. Бенетта из архипелага Новосибирских островов.

Полученные результаты однозначно и независимо друг от друга доказывают континентальное происхождение поднятия Менделеева:

1. Палеонтологические остатки показывают, что видимый осадочный разрез поднятия Менделеева начал формироваться не позднее позднего ордовика, 445 млн лет назад, задолго до того, как в Арктике началось раскрытие океана (150 млн лет назад).

2. Литолого-фациальный облик доломитов, известняков, кварцитопесчаников свидетельствует о том, что они отлагались в мелководных условиях эпиплатформенного моря.

3. Лавы изливались 110-114 млн лет назад в субаэральных условиях после длительного перерыва в осадконакоплении. Их расплавы плавилась под континентом и были контаминированы веществом континентальной коры. По геохимическим параметрам и возрасту вулканиты принадлежат высокоширотной магматической провинции HALIP.

4. Геологический разрез поднятия Менделеева близок разрезу о. Бенетта из архипелага Новосибирских островов, в котором на ниже-среднепалеозойских осадочных породах близкого фациального облика с большим перерывом и угловым несогласием залегают ниже-меловые вулканиты, петро-геохимически близкие таковым на поднятии Менделеева. Это свидетельствует о геологической близости поднятия Менделеева геологическим структурам шельфа Российской Арктики.

Эти выводы с их фактическим обоснованием были доложены М.А. Федонкиным на 46-й сессии Комиссии ООН по континентальному шельфу в 2018 году и приняты ею в качестве доказательной базы Российской Заявки.

Опыт сотрудничества и технологии, разработанные в ходе геологического изучения поднятия Менделеева с помощью НИПЛ, могут быть использованы при проведении геологических исследований ложа Северного Ледовитого океана для решения широкого круга задач, в том числе и для создания доказательной базы других Заявок на расширение ВГКШ России в Арктике, будучи модифицированными в соответствии с геологическими и океанологическими обстоятельствами.

**ДОКТОР ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
Р.Б.ШАКИРОВ,
КАНДИДАТ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
В.Т. СЪЕДИН,
ДОКТОР ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
А.И. ГРЕСОВ,
КАНДИДАТ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
В.В. САТТАРОВА,
КАНДИДАТ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
Н.В. АСТАХОВА,
КАНДИДАТ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
О.Н. КОЛЕСНИК,
КАНДИДАТ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
М. Г. ВАЛИТОВ, Н.С. ЛИ, М.В. ШАКИРОВА,
ДОКТОР ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК
С.П. ПЛЕТНЕВ**

**«КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ТОИ ДВО РАН
В КОНТЕКСТЕ ПЕРСПЕКТИВ ИЗУЧЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ
И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

Целью работы является представление авторских результатов по фундаментальным исследованиям проявлений подводных ПИ в некоторых районах Мирового океана, в первую очередь в пределах исключительной экономической зоны России в соответствии с национальными интересами в приросте минерально-сырьевой базы Российской Федерации. В результате комплексных геолого-геофизических и океанографических исследований коллективом проведены обобщения по некоторым перспективным направлениям изучения подводных минеральных ресурсов и окружающей среды за период 2017-2023 гг. В ряде акваторий проведены комплексные работы в режиме многолетней съемки (Японское и Охотское моря), исследования в конкретных районах и на профилях (моря Восточной Арктики, СЗ часть Тихого океана), выполнены межрегиональные обобщения в области газогидратов.

Ресурсы морских и океанских глубин способны покрыть потребности всего человечества на сотни лет вперед, обеспечив будущие поколения минеральными ресурсами для промышленного развития, высококачественными продуктами пи-

тания и лекарственными средствами. Результаты, представленные авторами, служат в первую очередь достижению целей, закрепленных в соответствующих документах стратегического планирования России в области морской деятельности. Несмотря на богатство недр, многие виды полезных ископаемых (ПИ) относятся к дефицитным и остродефицитным. Несмотря на высокие перспективы пристопа по всем видам МСБ, в настоящее время мы вынуждены импортировать, либо изымать из резервов уран, марганец, хром, титан, бокситы, цирконий, бериллий, литий, рений, редкоземельные элементы (РЗЭ) и др. (государственная программа Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов»). Часть из этих ПИ может быть эффективно восполнена за счет подводных минеральных ресурсов.

В ходе геолого-геофизических исследований акваторий Дальневосточного региона и прилегающих районов Тихого и Северного Ледовитого океанов коллективами ТОИ ДВО РАН, ВНИИОкеангеология, ДВГИ ДВО РАН, Дальморгео, АО «Южморгеология» и др. были обнаружены многочисленные проявления твёрдых полезных ископаемых в виде железомарганцевых и кобальтоносных образований, сульфидов, сульфатов («Баритовые холмы» в Охотском море), фосфоритов (Японское море), оксидов металлов, карбонатов, фторидов, пиролюзита, рудоносных сланцев, редкоземельных элементов (создана база данных по их содержанию в осадочных отложениях), благородных металлов в породах вулканических построек и др. Выделены перспективные зоны на шельфе для поисков россыпных месторождений титана, ванадия и др. Получены прямые признаки углеводородов на участках, ранее считавшимися неперспективными (в том числе в Южно-Китайском море), закартированы и изучены скопления газогидратов в Охотском и Японском морях, подготовлены поисковые работы на газогидраты в Беринговом море, проведены сравнительные исследования гидратоносности окраинных морей СЗ части Тихого океана и Индийского океана. Выявлены перспективы разведки подводных проявлений «нового золота» – элементов, которые имеют большое значение в низкоуглеродных технологиях (литий, графит, кобальт, медь). Отдельным огромным минеральным ресурсом в ряде случаев представляются глубоководные отложения сами по себе (пеллоидоподобные осадки и др.). В настоящее время зона перехода «континент-океан» и нейтральные воды могут стать важнейшим источником восполнения минерально-сырьевой базы этих полезных компонентов. Перспективным направлением авторы выделяют материаловедение морских минеральных ресурсов: исследование полезных свойств минералов, пород и донных отложений в различных областях народного хозяйства, медицины и др.

Организации Минобрнауки, находящиеся под научно-методическим руководством РАН, и Роснедра владеют уникальными коллекциями кернов осадочных отложений, горных пород, руд и минералов из морей Восточной Арктики, и западной части Тихого океана. Только в северной части Японского моря и южной части Татарского пролива получено с 2017 г. более 300 кернов и выполнена мелко-масштабная гравиметрическая и гидромагнитная съемка. С использованием такой основы можно строить геологические карты нового поколения, глубоко изучать физико-химические и другие свойства подводных полезных ископаемых, выпол-

нять мониторинг росгеолкарты и, в конечном итоге, осваивать подводную минерально-сырьевую базу и использовать комплексирование полученных результатов для обоснования внешней границы континентального шельфа.

В докладе приведены основные результаты по геологическим подводным объектам, в частности, марганцевые руды Японского и Охотского морей и прилегающих акваторий; редкоземельные руды Томторского рудного узла, древние и современные прибрежно-морские россыпи побережья моря Лаптевых; баритовое рудопроявление «Баритовые холмы» (Охотском море); железомарганцевые образования восточно-арктического шельфа России; прибрежно-морские россыпи шельфа и побережья дальневосточных морей, в т.ч. золотоносные россыпи шельфовой зоны юга Приморья и севера Сахалина, титаномagnetитовые россыпи Курильских островов, золотоносные россыпи Северосахалинской равнины и другие. Следует учитывать, в соответствии с вызовами Десятилетия, что одновременно с освоением подводных месторождений необходимо развивать технологии экологического мониторинга в районах недропользования.

Представленные исследования соответствуют основным задачам проекта ГЕОМИР национального плана действий в рамках Десятилетия ООН наук об океане в интересах устойчивого развития (2021-2030 гг.) и выполнены главным образом по направлениям государственного задания. Исследования газогидратов проведены в рамках рабочей группы ВЕСТПАК «Газогидраты и потоки метана в Индо-Тихоокеанском регионе» (CoSGas, 2021-2024 гг.), которая создана по инициативе и под лидерством России.

ОТДЕЛЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ НАУК РАН

АКАДЕМИК РАН В.А. ТУТЕЛЬЯН

«СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ И СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ (ВИТАМИНОВ, АМИНОКИСЛОТ, БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ДР.) ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ»

Приоритетная роль питания в поддержании здоровья детского и взрослого населения закреплена Указами Президента Российской Федерации от 07.05.2012 г. № 598 «О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения» и от 21.01.2020 г. № 20 «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации», а также распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 № 1364-р об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, Национальными проектами «Здравоохранение» и «Демография». Кроме того, перед Правительством Российской Федерации стоит цель по повышению качества и увеличению продолжительности жизни населения (повышение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет – к 2024 году, до 80 лет – к 2030 году) в рамках выполнения Указа Президента "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года".

Успехи отечественного сельского хозяйства, перерабатывающей и пищевой отраслей АПК позволили выйти на необходимый уровень обеспечения продовольственной безопасности страны по основным количественным показателям производства отечественной пищевой продукции и продовольственного сырья, определенным Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации. Однако структура потребления далека от идеальной.

Критериями оценки фактического питания на персонализированном и популяционном уровнях являются Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации (Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21). Фактическое питание россиян во многом не соответствует Нормам, а нарушения в структуре потребления пищевых продуктов выражены весьма значительно.

Регулярные обширные исследования пищевого статуса различных групп детского и взрослого населения Российской Федерации, проводимые ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» и другими научными учреждениями, однозначно свидетельствуют о том, что структура питания населения России не отвечает принципам здорового питания и характеризуется высокой калорийностью рациона, избыточным потреблением жиров (до 36% по калорийности), в первую очередь, животного происхождения, добавленных сахаров (до 14% по калорийности) при одновременном недостатке ряда витаминов (витамины С, В2, фолиевая кислота и некоторые другие), макро- и микроэлементов (кальций, железо, йод), а также пищевых волокон за счет недостаточного потребления овощей и бахчевых, фруктов, ягод, молочных продуктов. При этом у населения резко снизилась физическая активность, что привело к существенному снижению суточных энергозатрат, требующему снижения объемов потребления пищи. В тоже время эти объемы позволяют обеспечить потребности организма в энергии и основных пищевых веществах, но потребности организма человека в микронутриентах они обеспечить уже не могут. Таким образом, за последние 2-3 десятилетия в рационах питания населения сформировался дефицит многих микронутриентов и минорных биологически активных компонентов пищи.

Нарушения питания приводят к существенному повышению риска развития алиментарно-зависимых заболеваний, что снижает качество и продолжительность жизни, является большим экономическим бременем для страны. Так, в настоящее время в России избыточность массы тела и ожирение отмечаются почти у 62% взрослых, гипертоническая болезнь – у 58%, сахарный диабет – почти у 7%, неалкогольная жировая болезнь печени – у 30% взрослого населения, саркопения – у 13% и остеопения – у 43% людей пожилого и старческого возрастов.

С целью устранения сложившейся ситуации необходимо принятие незамедлительных мер, направленных на оптимизацию структуры питания населения. Соблюдение принципов здорового питания, организация медицинской помощи населению по профилю «диетология», совершенствование диетического лечебного и профилактического питания являются основой профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний.

Для решения поставленных задач была создана Профильная комиссия по диетологии Экспертного совета в сфере здравоохранения Минздрава России. С целью повышения качества оказания медицинской помощи, гармонизации работы и создания единого нормативного подхода в организации диетического лечебного и диетического профилактического питания в медицинских организациях Российской Федерации были даны предложения по актуализации приказов Минздрава России по диетологии. В числе приоритетных задач по совершенствованию диетологической помощи населению – включение во все клинические рекомендации и стандарты лечения разделов по диетическому лечебному и профилактическому питанию, формирование и развитие системы организации амбулаторной диетологической помощи населению.

Кроме того, весьма эффективным с экономической, социальной, гигиенической и технологической точек зрения является промышленное производство специализированных пищевых продуктов, отличительными признаками которых явля-

ются измененный химический состав и свойства, обеспечивающие проявление соответствующего физиологического воздействия на организм человека. Практическое решение этой задачи в сфере пищевых технологий связано с увеличением производства продукции, обогащенной незаменимыми факторами питания, специализированной пищевой продукции для диетического профилактического и лечебного питания.

Создание специализированных продуктов невозможно без использования современных пищевых ингредиентов различного назначения:

- микронутриенты и минорные биологически активные вещества, обеспечивающие повышение пищевой плотности или направленную физиологическую эффективность продукта;

- пищевые добавки и технологические вспомогательные средства различных классов, которые вводят в пищевое сырье или готовые продукты для достижения технологических эффектов (формирования необходимого органолептического профиля и текстуры продукта, продления сроков годности и др.).

Особенности состава конкретного вида специализированного пищевого продукта формируются во взаимосвязи с его целевым назначением на основании медико-биологических требований, учитывающих специфику питания населения в целом, его отдельных групп или конкретного человека.

До недавнего времени основные потребности в пищевых ингредиентах для производства различных видов специализированной пищевой продукции обеспечивали зарубежные производители. С введением санкционного режима, уходом с российского рынка ряда зарубежных компаний и возникновением рисков, связанных с дефицитом ключевых наименований, требуются незамедлительные действия по импортозамещению и самообеспечению качественными ингредиентами этого сектора пищевой промышленности. Ключевые задачи импортозамещения связаны с рядом глобальных преобразований в индустриальном секторе, включающих:

- восстановление микробиологической промышленности и производства продуктов химического синтеза;

- повышение степени переработки сельскохозяйственного сырья и эффективности использования вторичных ресурсов;

- расширение продовольственной базы за счет новых ресурсов (продуктов, полученных с использованием новых технологических процессов, генно-инженерно-модифицированных организмов растительного, животного и микробного происхождения, продуктов, полученных с использованием нетрадиционных источников – аквакультуры, насекомых, микроорганизмов, микроскопических грибов);

- разработку и внедрение современных технологий переработки продовольственного сырья;

- подготовку квалифицированных кадров для отрасли производства пищевых ингредиентов.

Производство отдельных видов пищевых ингредиентов в настоящее время уже началось на ряде российских предприятий.

В качестве новой формы интеграции научно-технического потенциала для создания инновационной специализированной пищевой продукции и конкретным

механизмом решения обозначенных ранее вопросов является деятельность Консорциума «Здоровьесбережение, питание, демография», созданного по инициативе Российской академии наук (Соглашение от 14.09.2021 г.), который объединяет ряд ведущих НИИ, отраслевых союзов, предприятий пищевой индустрии (всего 85 участников на 30.11.2023 г.). Консорциум представляет собой уникальный исследовательский комплекс полного цикла – от фундаментальных и поисковых исследований в области приоритетных направлений медицины и нутрициологии, прикладных исследований по созданию технологий новых видов пищевой продукции и ингредиентов, доклинической и клинической оценки эффективности, разработки инновационных технологий профилактики и лечения алиментарно-зависимых заболеваний с применением таких продуктов, – до их ширококомасштабного производства.

Важнейшей задачей Консорциума также является формирование трансляционного пула образовательных программ в области нутрициологии и диетологии. В ФИЦ питания и биотехнологии, в частности, создан образовательный кластер «Здоровое питание», который объединяет дифференцированные программы для специалистов (медицинские, педагогические работники, АПК и др.) и разных групп населения с учетом возраста, гендерных особенностей, профессиональных навыков, уровня физической активности и статуса здоровья. Реализация контактных и дистанционных образовательных программ осуществляется как непосредственно в ФИЦ питания и биотехнологии (9 программ на постоянной основе), так и на пяти базовых кафедрах – кафедра гигиены питания и токсикологии Первого МГМУ им И.М.Сеченова, кафедра диетологии и нутрициологии РМАПО, кафедра гастроэнтерологии и диетологии, кафедра факультетской терапии РНИМУ им Н.И.Пирогова и кафедра экологии и безопасности пищи РУДН (суммарно 34 образовательные программы). В рамках деятельности Консорциума организовано регулярное взаимодействие со средствами массовой информации с целью просвещения населения по вопросам здорового питания, популяризацию результатов научных исследований в области медицины и АПК.

Таким образом, принятие комплекса незамедлительных мер по насыщению рынка отечественной пищевой продукцией с заданным химическим составом и свойствами позволит решить проблему импортозамещения, восполнения дефицита микронутриентов, снижения калорийности и увеличения пищевой плотности рациона как в организованных коллективах, так и при индивидуальном потреблении, что, наряду с реализацией образовательных программ, послужит основой здоровьесбережения и улучшения качества жизни россиян.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН А.С. СИМБИРЦЕВ

«ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МЕДИЦИНСКИХ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ»

Большинство достижений в области медицины в последние десятилетия во многом связаны с прогрессом в развитии медицинской биотехнологии, окончательно выделившейся в самостоятельную научную дисциплину. Все научные разработки в области медицинской биотехнологии можно условно разделить на диагностические, терапевтические и профилактические.

Особое место в этом направлении занимает создание медицинских препаратов нового поколения, основанное на воспроизводстве структурно-функциональных аналогов биологически активных молекул, синтезируемых клетками организма. Смысл создания таких препаратов заключается в повторении методами биотехнологии уникальных биологических свойств молекул, сформированных самой природой в течение миллионов лет эволюции и не имеющих равных среди других искусственно конструируемых лекарств. Отличительные особенности лекарственных препаратов, созданных на основе этих молекул: высокая удельная активность, селективное фармакологическое действие, низкая токсичность.

Внедренные в клиническую практику и разрабатываемые препараты могут быть условно разделены на следующие основные группы: 1) Гормоны, ростовые факторы и цитокины (например, инсулин, гормон роста, эритропоэтин, интерферон); 2) Белки системы свертывания крови, системы комплемента, теплового шока, протеолитические ферменты и др.; 3) Терапевтические моноклональные антитела; 4) Синтетические пептиды; 5) Генно-инженерные вакцины.

Во время пандемии COVID-19 для борьбы с коронавирусной инфекцией в экстренном порядке разработаны новые отечественные биотехнологические продукты: профилактические – несколько эффективных вакцин против вируса SARS-CoV-2 (например, известная во всем мире вакцина ГамКовидВак); терапевтические (например, МИР-19, противовирусный препарат на основе РНК); диагностические (например, способ оценки противовирусного иммунитета с использованием рекомбинантного химерного антигена Коронадерм-PS).

Т-клеточный иммунный ответ крайне важен при защите организма человека от вирусных инфекций. У пациентов с COVID-19 Т-клеточный ответ направлен в основном на структурные белки вируса S, M, N, E. Из них наиболее консервативным и стабильным является белок нуклеокапсида (N): большинство его эпитопов, специфичных для Т-клеток, сохраняют функциональность в защите от инфекций, вызываемых мутированными вариантами SARS-CoV-2. Для оценки иммунитета пациентов в отношении коронавирусной инфекции и оценки эффективности вакцинных кандидатов необходима разработка оптимального диагностического антигена, используемого для оценки формирования Т-клеточной реакции против антигенных детерминант SARS-CoV-2. Диагностический тест для определения специфической чувствительности организма к инфекции,

вызываемой SARS-CoV-2, должен быть нацелен на консервативные регионы известных вариантов SARS-CoV-2.

В связи с этим, целями исследования по данному проекту стали: разработка рекомбинантного химерного антигена, содержащего консервативные иммуногенные последовательности структурных белков коронавируса SARS-CoV-2, изучение его специфических иммунологических свойств, разработка способа оценки Т-клеточного противовирусного иммунитета, создание медицинского препарата на основе полученного белка, его доклинические и клинические исследования.

Поиск иммуногенных эпитопов проводили в последовательностях структурных белков S, N, M и E SARS-CoV-2 (изолят Wuhan-Hu-1, номер доступа NCBI NC_045512.2). Программы TeriTool и NetMHCIIpan использовали для прогнозирования и идентификации высокоаффинных эпитопов, охватывающих белки E, M, N, S SARS-CoV-2 и связывающих МНС II, на основе панели из 27 наиболее частых аллелей A и B с включением аллелей HLA-DR, HLA-DP и HLA-DQ. В методе прогнозирования - IEDB, выбирали «умеренное количество пептидов», длина эпитопа по умолчанию составляла 15 аминокислот. Пептиды предсказали на основе порогового значения IC50, меньшего или равного 1000 нМ. В программе NetMHCIIpan предсказали связывание 15 АК пептидов с 27 аллелями МНС II. Для всех пептидов была предсказана аффинность их связывания с 27 молекулами МНС класса II, на долю которых приходится 97% аллельных вариантов HLA-A и HLA-B у большинства этнических групп. Проводили выравнивание последовательностей, содержащих наиболее иммуногенные участки структурных белков SARS-CoV-2, с помощью алгоритма BLAST против белков человека, чтобы убедиться в отсутствии сходства полученной гибридной последовательности с последовательностями белков человека и избежать возникновения возможных аутоиммунных реакций при введении антигена.

Было сконструировано несколько вариантов рекомбинантных белков-антигенов, из которых выбрали один на основании его физико-химических свойств: изоэлектрической точки, индекса гидрофобности и алифатического индекса, построенной с помощью I-TASSER 3D модели. Последовательность синтезировали и клонировали в вектор pET24a(+). Полученной плазмидой pCorD_PS последовательно трансформировали штаммы *E. coli* DH5 α , затем Rosetta (DE3). Получен стабильный, продуктивный по коронавирусовому рекомбинантному антигену штамм-продуцент *E. coli* CorD_PS. Для данного рекомбинантного белка разработаны методы выделения из биомассы штамма-продуцента и хроматографической очистки, позволившие получить белок 98% чистоты с содержанием эндотоксина – менее 12 единиц. В результате разработан комбинированный антиген, включающий в себя консервативные участки белков S, M, E и белок N коронавируса SARS-CoV-2, на которые может формироваться Т-клеточный иммунный ответ. Отобранные участки структурных белков включают высококонсервативные эпитопы среди мутированных штаммов, вызывающих наибольшую обеспокоенность: варианты B.1.1.7, B.1.351, P.1, B.1.429, B.1.526, B.1.617, B.1.617.1, B.1.617.2, AY.1, B.1.618, C.37, B.1.621 и B.1.1.52; включенные эпитопы S-белка соответствуют RBD домену.

Изучение специфической активности созданного химерного антигена исследована в тесте активации Т-лимфоцитов, оцененной по способности продуцировать

интерферон гамма при анализе методом цитофлюориметрии. Оказалось, что CD4+ Т-лимфоциты с фенотипом CD3+CD4+CD45RA- (Т-хелперы памяти), выделенные у добровольцев, перенесших COVID-19, ответили продукцией IFN γ на стимуляцию химерным антигеном в условиях *in vitro*. При этом лимфоциты добровольцев, не болевших COVID-19, не отвечали при тех же условиях постановки опыта.

Все известные способы оценки клеточного иммунитета против SARS-CoV-2 являются методами *ex vivo* – методы оценки синтеза цитокинов стимулированными клетками с помощью ELISPOT и цитофлюориметрии. Данные методы не применяются массово из-за высокой стоимости специального лабораторного оборудования и реагентов, сложности подготовки проб, требуют работы высококвалифицированного персонала и связаны с инвазивными методами забора венозной крови у обследуемых лиц. Все это ограничивает возможности оценки клеточного иммунитета против коронавируса.

Предложенный нами метод оценки Т-клеточного иммунитета заключается в постановке кожной пробы с разработанным препаратом на основе рекомбинантного гибридного белка, содержащего антигенные участки последовательности белков коронавируса (Евразийская заявка "Способ оценки клеточного иммунного ответа против коронавирусной инфекции" подана 11.03.2021 г, номер 202190517 и Международная заявка "Express diagnosticum for SARS-COV-2" подана 02.09.2020 г., номер РСТ/IB2020/058162). Наблюдаемая местная воспалительная реакция является результатом развития гиперчувствительности замедленного типа, связанной с активацией *in vivo* Т-лимфоцитов, специфичных к антигенам коронавируса, и проявляется в виде эритемы и уплотнения (папулы) в месте введения в течение 72 часов при наличии в организме Т-клеточного иммунного ответа против SARS-CoV-2. Учет реакции проводится визуально. Преимущество реакции гиперчувствительности замедленного типа заключается в том, что происходит комплексная оценка работы иммунной системы, т.к. помимо собственно активации Т-клеток, как главного иницирующего компонента реакции, требуется также представление антигена ДК или другими АПК, синтез цитокинов с развитием полноценной воспалительной реакции. Проверенные временем аналоги – проба Манту, Диаскинтест для диагностики туберкулеза и некоторые другие кожные тесты.

Экспериментальное изучение специфической активности препарата КоронаДерм-PS для оценки клеточного иммунитета против коронавируса SARS-CoV-2 с помощью постановки кожного теста проведено на морских свинках в ФБУН «ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора (г. Новосибирск). Полученные данные свидетельствуют о развитии кожной реакции у 100% сенсibilизированных морских свинок, в отличие от несенсibilизированного контроля. Реакция выражалась в появлении кожных инфильтратов через 72 часа после введения разрешающей дозы. Таким образом, препарат КоронаДерм-PS вызывал дозозависимое развитие кожной реакции у сенсibilизированных морских свинок, являющейся проявлением реакции гиперчувствительности замедленного типа.

Доклинические исследования безопасности препарата проведены в «ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора (Новосибирск) и в Научно-исследовательском институте фармакологии и регенеративной медицины имени Е.Д. Гольдберга (НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга) ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»

(г. Томск). Результаты доклинического исследования свидетельствуют о том, что лекарственный препарат КоронаДерм-PS не проявлял токсических свойств.

В ходе клинических испытаний проведено простое слепое плацебо-контролируемое исследование безопасности, реактогенности и специфической активности рекомбинантного антигена коронавируса SARS-CoV-2 (КоронаДерм-PS) на добровольцах в возрасте 18 и более лет (I-II фаза), номер протокола CD-PS-01/21. Изучение показателей эффективности препарата КоронаДерм-PS при внутрикожном введении в дозе 10 мкг (0,2 мл) проведено на трех группах добровольцев, вакцинированных вакцинами ЭпиВакКорона, Гам-КОВИД-Вак, КовиВак, и одной группе добровольцев, перенесших коронавирусную инфекцию и не вакцинированных. В ходе выполнения клинического исследования каких-либо серьезных системных, аллергических и местных (связанных со способом введения лекарственного средства) нежелательных явлений не было зарегистрировано. На основании проведенных клинических испытаний можно сделать следующие выводы. Если у человека сформировался клеточный иммунитет против SARS-CoV-2 в результате следующих событий: человек болен COVID-19 (активная или бессимптомная инфекция), либо переболел коронавирусной инфекцией, в том числе без явных клинических проявлений, либо вакцинировался от коронавирусной инфекции, то в месте введения формируется кожная реакция – положительный тест. Если человек не имеет клеточного иммунитета против коронавируса, то местной реакции в виде покраснения и возникновения воспалительной папулы не возникнет – тест отрицательный.

Таким образом, проведены научные исследования в области медицинской биотехнологии по разработке, изучению механизмов действия и клиническому внедрению инновационного медицинского препарата для оценки Т-клеточного иммунитета при коронавирусной инфекции. Препарат может стать эффективным инструментом для определения Т-клеточных реакций у пациентов с COVID-19 с различной степенью тяжести заболевания и/или оценки иммуногенности кандидатных вакцин в их клинических испытаниях и напряженности иммунитета после заболевания или после вакцинации. В настоящее время проводится процедура регистрации медицинского диагностического препарата «Коронадерм PS» Минздравом России.

В настоящее время достижения медицинской биотехнологии находят все более широкое применение в клинической практике для борьбы с раком, последствиями травм, сердечно-сосудистыми, инфекционными и неинфекционными социально значимыми заболеваниями. Разработка и внедрение инновационных биопрепаратов направлены на развитие современных высокотехнологичных подходов оказания медицинской помощи и приведет к импортозамещению с повышением доли отечественных лекарственных средств и технологий, используемых в практическом здравоохранении, для обеспечения экономической безопасности и экономической независимости государства в области биотехнологии и медицины. Новые научные разработки в данной области могут найти достойное применение на современном этапе развития общества для проведения эффективной терапии социально значимых заболеваний с помощью медицинских средств последнего поколения.

**АКАДЕМИК РАН А.Ш. РЕВИШВИЛИ,
АКАДЕМИК РАН Б.Г. АЛЕКЯН**

**«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ЛЕЧЕНИИ РАННЕ НЕОПЕРАБЕЛЬНЫХ
КОМОРБИДНЫХ ПАЦИЕНТОВ
ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА»**

Летальность от сердечно-сосудистых (ССЗ) и онкологических (ЗНО) заболеваний сохраняет лидирующие позиции во всем мире, составляя более половины случаев в структуре смертности. Встречаемость как ССЗ, так и онкологических заболеваний с возрастом увеличивается. ИБС и ЗНО — это две отдельные нозологии, которые имеют такие общие факторы риска, как артериальная гипертензия, сахарный диабет, табакокурение. Так, в исследовании на базе клиники Мейо частота ИБС у пациентов в сочетании с раком легких составляет – 21%, молочной железы – 6%, колоректальным раком – 12% и с раком почек – 17%. Отмечается, что раннее лечение ЗНО увеличивает выживаемость пациентов в отдаленном периоде. По данным большого мета-анализа отсрочка в лечении ЗНО на 4 недели увеличивает смертность пациентов в отдаленном периоде. На сегодня имеются четкие клинические рекомендации по лечению пациентов как с ИБС, так и с ЗНО. Однако, нет разработанных рекомендаций по лечению пациентов с сочетанием этих двух нозологий.

В нашей клинической практике мы столкнулись с особо тяжелой группой пациентов, имеющих кровоточащее онкологическое образование, либо тяжелый опухолевый процесс, требующий скорейшего радикального лечения (на грани резектабельности) в сочетании с тяжелой ИБС. Для решения вопросов стратегии лечения этой группы пациентов в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского впервые был разработан и внедрен в клиническую практику мультидисциплинарный подход. Каждый пациент обсуждался на объединенном мультидисциплинарном консилиуме в составе хирургов-онкологов, химиотерапевтов, сердечно-сосудистых и рентгенэндоваскулярных хирургов, кардиологов, анестезиологов-реаниматологов. Выполнение первым этапом онкологической операции при тяжелых поражениях коронарных артерий является серьезным фактором риска больших сердечно-сосудистых осложнений, а стентирования коронарной артерии - не представляется возможным в связи с кровоточащим раком. В связи с этим, нами было впервые в стране научно обосновано и разработана гибридная стратегия выполнения двух операций в один день. Пациенты поступали в рентгеноперационную, получали нагрузочную дозу клопидогрела и ацетилсалициловой кислоты и им выполнялось ЧКВ. Непосредственно после стентирования коронарных артерий пациенты переводились в хирургическую операционную для выполнения им онкологической операции. При помощи данного гибридного

подхода нами было пролечено 25 пациентов с тяжелой ИБС и сопутствующим онкологическим заболеванием без летальных исходов и больших сердечно-сосудистых осложнений.

Четырем пациентам с онкологическими кровотокающими образованиями и критическим стенозом аортального клапана также впервые в стране был применен гибридный подход: выполнение транскатетерной имплантации аортального клапана и онкологической операции в один день. Летальных исходов и больших сердечно-сосудистых осложнений выявлено не было.

По данным ООН во всем мире растет продолжительность жизни населения и увеличивается процент людей старше 65 лет. По данным Росстата с 2006 года в Российской Федерации отмечается динамика роста заболеваемости ИБС. Увеличение продолжительности жизни населения и заболеваемости ИБС в совокупности с мерами здравоохранения нашей страны, направленными на снижение летальности от сердечно-сосудистых заболеваний, привело к росту числа пациентов старшей возрастной группы с несколькими хроническими заболеваниями. По данным рекомендаций ЕОК 2018 года трехсосудистое поражение коронарных артерий с SYNTAX>22 является показанием для проведения только операции коронарного шунтирования. Однако, в этой группе есть пациенты высокого хирургического риска, которым отказывают в проведении коронарного шунтирования ввиду коморбидности. Единственным методом прямой реваскуляризации миокарда у них остается стентирование. В НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского были выполнены ЧКВ 144 пациентам высокого хирургического риска с трехсосудистым поражением коронарных артерий, которым консилиумом «сердечной команды» было отказано в коронарном шунтировании. Пациенты были разделены на 4 группы в соответствии с сопутствующими заболеваниями: группа 1 – с тяжелой кардиальной патологией, группа 2 – внекардиальными сопутствующими заболеваниями, группа 3 – заболеваниями периферических артерий и группа 4 – с онкологическими заболеваниями. Важно отметить, что 70% пациентов имели 3-4 ФК стенокардии, а 60% – 3 и более сопутствующих заболеваний. На госпитальном этапе летальность отсутствовала, отмечен 1 случай ОИМ с подъемом сегмента ST ввиду острого тромбоза стента. В отдаленном двухлетнем периоде летальность от всех причин составила 15% (n=18), со статистически значимым различием частоты летальности в группе с онкологическими сопутствующими заболеваниями. Летальность от ОИМ составила 2,5%, от ОНМК – 1,7%. В подгруппе пациентов с полной реваскуляризацией миокарда 5,8% пациентам была выполнена повторная реваскуляризация, а с неполной – 7,5%. Всего 16 пациентов было подвергнуто повторной реваскуляризации: 10 – в связи с рестенозом стента, 4 – с тромбозом стента и 2 – с ЧКВ нецелевой коронарной артерии.

Также актуальной является и проблема внезапной сердечной смерти (ВСС). Желудочковые аритмии, в том числе желудочковые тахикардии (ЖТ), являются одной из основных причин внезапной сердечной смерти в Российской Федерации и в мире. Развитие ВСС ежегодно уносит более 4,25 миллиона жизней во всем мире и 180-300 тыс. в Российской Федерации. Мономорфная ЖТ обычно возникает у пациентов с обширным инфарктом и сниженной фракцией выброса левого желудочка. Риск развития постинфарктной ЖТ составляет около 3-5%. Тем не менее,

он может увеличиваться в результате улучшения постинфарктной выживаемости и возможности появления ЖТ спустя годы после первоначального инфаркта в сочетании с прогрессирующим старением населения в мировой популяции.

В стране ежегодно умирает более 200 тыс человек от внезапной сердечной смерти, которая в 80% случаев обусловлена жизнеугрожающими желудочковыми тахикардиями. Лечение желудочковых тахикардий включает применение антиаритмических препаратов, имплантацию кардиовертера-дефибриллятора (ИКД) для первичной и вторичной профилактики ВСС, так же применение различных катетерных процедур аблации субстрата аритмий, включающие катетерную радиочастотную аблацию, криоаблацию, спиртовые аблации. Результаты традиционной стратегии радиочастотной аблации (РЧА) могут быть невысоки, особенно в случае сложной анатомии и субэпи- и субэндокардиального расположения субстрата аритмии. Частота рецидивов после РЧА колеблется от 20 до 50% при периоде наблюдения до одного года. Актуальным является также вопрос эффективного лечения жизнеугрожающих тахикардий у пациентов со сниженной насосной и сократительной функцией левого желудочка сердца и, как следствие, перенесенного инфаркта миокарда, желудочковых тахикардий и внезапной сердечной смерти.

При этом катетерные процедуры при ЖТ являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений в области электрофизиологии сердца. Увеличение количества пролеченных пациентов с рефрактерной ЖТ за счет внедрения новых технологий привело к улучшению клинических результатов и безопасности лечения желудочковых нарушений ритма с использованием катетерных процедур, что не исключает потребность в лечении пациентов рефрактерных, как медикаментозной терапии, так и к хирургическому лечению тахикардий, пациентов которые не могут быть пролечены ввиду отсутствия хирургического доступа, имеющих тяжелые сопутствующие патологии, в том числе ЗНО.

В последние десятилетия стереотаксическое облучение патологических очагов различной природы с помощью линейных ускорителей и заряженных частиц становится все более распространенным методом лучевой терапии в онкологии (преимущественно в приложении к новообразованиям ЦНС). В стереотаксической лучевой терапии и радиохирургии используются современные технологии, которые позволяют подводить излучение к «мишени» с большого количества направлений и с высокой степенью прецизионности. Это обеспечивает конформное (совпадающее по объему с объемом патологического очага) облучение, максимально снижая воздействие на окружающие «здоровые» ткани и минимизируя острые и отсроченные лучевые осложнения. Неинвазивное стереотаксическое лечение с помощью линейных ускорителей заряженных частиц считается многообещающей альтернативой катетерной аблации у пациентов с тахикардиями.

Это позволило провести экспериментальные и клинические исследования по применению этой технологии для лечения тахикардий, показавшие высокую эффективность и безопасность данного метода лечения в отдаленные сроки наблюдения.

Так в экспериментальном исследовании по применению стереотаксической радиоаблации на модели крупных млекопитающих, проведенном в НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского, были продемонстрированы высокие показатели эффектив-

ности и безопасности методики для создания стойкого повреждения миокарда у экспериментальных животных. Объемы лучевого поражения тканей сердца, анализируемые при аутопсии, положительно коррелировали с распределением дозы вокруг целевого объема повреждения, т.е. воздействия, были в высокой степени конформны (совпадали по объему) и прецизионны, что позволило выполнить первое применение технологии в клинической практике.

Первое в мире клиническое применение стереотаксической радиоабляции сердца для лечения рефрактерной к медикаментозной терапии и хирургическому лечению устойчивой желудочковой тахикардии было проведено сотрудниками НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского совместно с НМИЦ нейрохирургии им Н.Н. Бурденко Минздрава России в 2022 году с использованием отечественной системы компьютерного неинвазивного многоканального картирования – «АМИ-КАРД». Пациенту 57 лет была проведена стереотаксическая радиоабляция рефрактерной к медикаментозному и хирургическому лечению устойчивой желудочковой тахикардии. В отдаленные сроки наблюдения (18 месяцев) отмечена высокая эффективность и безопасность данного подхода, характеризующаяся: элиминацией желудочковых нарушений ритма, отсутствием госпитальных и отдаленных осложнений, а также хорошая переносимость такого лечения пациентом. В настоящее время проводится 1 фаза клинического исследования применения новой неинвазивной технологии лечения жизнеугрожающих аритмий.

Комплексное ведение пациентов с ЖТ основано на целостном подходе, при котором стереотаксическую радиоабляцию следует рассматривать, как одну из методик лечения пациентов с устойчивыми ЖТ, рефрактерными к медикаментозной терапии и инвазивным катетерным процедурам.

**АКАДЕМИК РАН А.Г. ЧУЧАЛИН,
ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН В.Д. СЕЛЕМИР,
ДОКТОР БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК А.Ф. ВАНИН
«ОКСИД АЗОТА – МОЛЕКУЛА XXI ВЕКА»**

Цель доклада – охарактеризовать определение уровня оксида азота (NO) в современной клинической практике как диагностический тест, а также рассмотреть NO в качестве лекарственного средства.

На протяжении прошедшего столетия химическая структура и биологические свойства NO активно изучались выдающимися российскими учеными: Е.К. Завойским, Л.А. Блюменфельдом, а также ныне здравствующими учеными: А.Ф. Ваниным, В.Д. Селемиром.

Особое место принадлежит Е. К. Завойскому, который, с начала 1940-х годов изучая в физической лаборатории Казанского университета ядерный магнитный резонанс, 12 июля 1944 г. зарегистрировал научное открытие № 83 «Эффект электронного парамагнитного резонанса».

История вопроса об изучении биофизических свойств NO связана с работами члена-корреспондента Академии наук СССР Л.А. Блюменфельда. Метод спектроскопии, разработанный Е.К. Завойским, был применен Л.А. Блюменфельдом. Он исследовал транспорт кислорода гемической структурой гемоглобина. Данный метод основан на эффекте электронного парамагнитного резонанса. Выяснить роль NO в транспорте кислорода Л.А. Блюменфельду позволил спектроскопический анализ. В дальнейшем многочисленные ученики Л.А. Блюменфельда проводили исследования разных биологических эффектов NO. Согласно теории школы Блюменфельда, данная молекула стала рассматриваться как биологический мессенджер, а по своим характеристикам – как биологический маркер ряда заболеваний (бронхиальная астма, легочная гипертензия, первичная цилиарная дискинезия реснитчатого эпителия и т.п.).

Особая роль в исследовательском цикле биологической роли NO принадлежит ученику Л.А. Блюменфельда А.Ф. Ванину. Более 50 лет он изучал биохимические и физические процессы связи NO с гемической структурой гемоглобина. Аспирант Л.А. Блюменфельда, теперь уже известный профессор А.Ф. Ванин изучил химические процессы связи двухвалентного железа гема с NO и образования динитрозильного комплекса железа с тиоловыми лигандами. Эти принципиально новые научные данные позволили существенно изменить наши представления о транспорте кислорода в организме человека, о чем речь пойдет ниже. А.Ф. Ванин схематически представил химическую связь NO с двухвалентным железом и тиоловыми лигандами.

Согласно теории А.Ф. Ванина, гемоглобин транспортирует две газообразные молекулы – кислород и NO. Биологическая сущность данного феномена состоит в том, чтобы, с одной стороны, защитить гемическую структуру гемоглобина от окислительного стресса и с другой – обеспечить транспорт кислорода в ишемизированный участок тканей человеческого организма. Если при транспорте кислорода мишенью

являются митохондрии, то при транспорте NO процесс регулируется эндотелием сосудов. Эндотелий сосудов играет ключевую роль в метаболизме NO.

Теория изучения NO в России будет неполной, если не упоминать работы члена-корреспондента РАН В.Д. Селемира и его команды. Физики из Саровского института ядерной физики впервые в мире смогли разработать электрогенератор, который из атмосферного воздуха выделяет чистую фракцию NO, и она непосредственно через дыхательные пути доставляется в организм человека. Это физико-инженерное решение позволило полностью предотвращать развитие азотистого стресса, который развивается в ответ на повышенную концентрацию диоксида азота (NO₂) и пероксинитрита.

В наши дни в России сформировалась группа ученых, которые активно внедряют в клиническую практику NO. Среди лидеров, участвующих в этом процессе, следует упомянуть академиков РАН Г.Т. Сухих, Е.В. Шляхто, членов-корреспондентов РАН В.Д. Селемира, С.Д. Варфоломеева, а также профессоров А.Ф. Ванина, В.И. Козлова. Конечно, на этом история изучения роли NO в природе человеческого организма не заканчивается.

NO образуется из аминокислоты L-аргинина, что происходит при участии NO-синтазы, никотинамидадениндинуклеотидфосфата и кислорода. Предполагалось, что повышенное потребление с пищей аминокислоты L-аргинина приведет и к повышенной продукции NO, однако на практике данное предположение не подтвердилось. Возможно, это связано с регуляцией энзиматической активности NO-синтазы.

Инактивация NO происходит при его взаимодействии с гемической структурой гемоглобина. В процессе этого биологического взаимодействия образуются NO₂ и метгемоглобин. Еще один путь инактивации NO связан с его реакцией с нитрозотиоловыми радикалами. Реакция с кислородом приводит к образованию такого токсического соединения, как пероксинитрит. Биологический эффект данной реакции проявляется в антимикробном и противовирусном действии NO. Эти механизмы учитываются при назначении ингаляций NO больным с тяжелыми пневмониями, туберкулезом легких, сепсисом.

Опосредуя свое действие через гуанилатциклазу, NO участвует также в формировании биологических клеточных сигналов. Понимание метаболизма NO и механизма его влияния на биологические процессы позволило А.Ф. Ванину указать на гормональные свойства NO. Важная роль в метаболизме NO отводится синтазам. В настоящее время идентифицировано 3 типа NO-синтаз (NOS): 1-й – нейрональная (nNOS); 2-й – индуцибельная (iNOS); повышенный синтез NO индуцируют липополисахариды и некоторые цитокины; 3-й – эндотелиальная (eNOS); рассматривается также как нейрональный тип. В каждом органе регистрируется разный тип NOS, однако в органах дыхания представлены все 3 типа, которые экспрессируются постоянно и контролируют синтез NO.

Важен также пищевой путь синтеза NO. Обращает на себя внимание роль желудочно-кишечного тракта в синтезе нитратов, их трансформации в нитриты и в конечном счете в NO.

В докладе рассматривается NO как биологический маркер и лекарственное средство. Все заболевания, при которых установлена патогенетическая роль NO,

делятся на две группы: болезни с повышенным содержанием маркера и болезни с пониженным содержанием NO. В качестве диагностического средства NO используется при бронхиальной астме, аспергиллезе и некоторых других микотических заболеваниях органов дыхания, при идиопатической форме легочной гипертензии, первичной цилиарной дискинезии (синдром Картагенера), ответе микроциркуляторного русла на ингаляции NO. При терапии стероидными гормональными препаратами происходит значительная редукция содержания NO. Этот цикл работ сыграл большую роль в развитии современного научного направления «бризомика». NO не повышался при других легочных заболеваниях, таких как хроническая обструктивная болезнь легких, муковисцидоз.

В качестве лечебного средства NO применяется при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, легочных заболеваниях, онкологических и андрологических, а также сахарном диабете и легочной гипертензии.

Особое место занимает роль NO в регуляции сосудистого тонуса микроциркуляторного русла и реологических свойств крови, проходящей через капилляры и вены. Эта часть кровообращения может быть исследована с помощью современных методов капилляроскопии, т.е. представляется возможность титровать лечебную дозу NO. Таким образом, диагностический тест с участием NO может быть проведен в тесте с оценкой микроциркуляции или же в мониторинге давления в легочной артерии.

Помимо вазодилатирующего эффекта NO существенный интерес вызывает его влияние на эластические свойства эритроцитов, что имеет большое значение при транспорте эритроцитов и тромбоцитов через микроциркуляторное русло.

В последние годы проводятся активные исследования роли NO в мужском здоровье. В США существует активно действующая программа по мужскому здоровью, и в лечебных кабинетах мужчинам предлагаются ингаляции NO и диетические программы с повышенным содержанием нитратов – предшественников NO.

Идея Л.А. Блюменфельда и А.Ф. Ванина о роли NO в регуляции гипоксемии нашла подтверждение в исследованиях последнего времени. В газообмене человеческого организма патогенетическая роль принадлежит диссоциации кислорода в эритроциты в его гемическую структуру, что происходит в капиллярах альвеол; здесь же имеет место элиминация двуокиси углерода. Роль NO сводится к регуляции процесса диссоциации кислорода, с одной стороны, а с другой – он вместе с двуокисью углерода оказывает влияние на биологический ритм дыхательного центра, как на его вентральные, так и дорсальные ядра. Эритроциты, которые включаются в легочное кровообращение, содержат динитрозильный комплекс железа с тиоловыми лигандами. Таким образом, современные данные подтвердили гипотезу Л.А. Блюменфельда, которую он обозначил как «умный азот».

На сайте <https://berkeleylife.com/> опубликованы данные о синтезе NO в зависимости от возраста человека. После 60 лет происходит значительная редукция в функции эндотелиальной синтазы, участвующей в синтезе NO. Это принципиально новая информация, которая позволяет по-новому взглянуть на возникновение сердечно-сосудистых заболеваний и не только связать развитие атеросклеротического процесса с эндотелиальной дисфункцией, но и указать на патогенетическую роль NO.

Далее приводятся данные по NO как биологическому (диагностическому) маркеру при диагностике целого ряда заболеваний.

В клинической практике нами разработан тест, предназначенный для определения микроциркуляции в капиллярах, артериолах и венах и ответа на ингаляцию NO. Этот диагностический тест позволяет не только установить реакцию микроциркуляции на гемодинамический эффект NO, но и персонализировать его лечебную дозу. Особой категорией больных, которые нуждаются в высоких, а порой и мегадозах NO, являются больные, страдающие сахарным диабетом. При диагностике легочной гипертензии используется тест на реактивность сосудов малого круга кровообращения, которая оценивается после ингаляции NO.

Как свидетельствует накопленный клинический опыт лечения больных с постковидным синдромом и тромбоэмболией легочной артерии, лечебные эффекты NO связаны с его способностью улучшать циркуляцию крови в русле микрососудов, что, в свою очередь, способствует диффузии кислорода в ишемизированную ткань. Терапия NO оказывает быстрый эффект в купировании как неврологических (снижение памяти, депрессия, быстрая утомляемость и целый ряд других проявлений), так и пульмонологических проявлений постковидного синдрома.

Таким образом, в конце 40-х годов прошлого столетия Л.А. Блюменфельдом была разработана теория о роли NO в формировании целого ряда биологических эффектов, в основе которых лежит связь гемической структуры гемоглобина с транспортом кислорода. Отечественная школа химиков и физиков внесла существенный вклад в представление о NO как диагностическом и лечебном газе. Целый ряд диагностических алгоритмов в современной медицинской практике используют тест с NO для установления диагнозов бронхиальной астмы, грибковой колонизации дыхательных путей, а также при диагностике легочной гипертензии и синдроме Картагенера. Широкие перспективы открываются при исследовании роли NO в микроциркуляции. Впервые в истории медицины найден способ индивидуального подбора лечебной дозы NO; титрование терапевтической дозы NO существенно повышает его эффективность.

Большой интерес в практической медицине представляет применение NO с лечебной целью. Опыт, который накоплен на сегодняшний день, свидетельствует о его эффективности в таких чувствительных областях, какими являются трансплантология, кардиология, эндокринология, андрология, спортивная медицина и др. В докладе приведен личный опыт применения NO у больных с постковидным синдромом и тромбоэмболией легочной артерии. Бесспорно, мы нуждаемся в организации многоцентровых исследований для более углубленной оценки эффективности терапии NO и выработки критериев его дозы и продолжительности лечебных мероприятий.

**АКАДЕМИК РАН Г.В. ТРУБНИКОВ,
ЧЛЕНЫ СЕКЦИИ
КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ ОМЕДН РАН
«ПРОТОННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ РОССИИ»**

История клинического применения фотонной и протонной лучевой терапии в онкологии убедительно доказывает необходимость этих методов в лечении злокачественных новообразований. Как известно, число пациентов в России, для которых лучевая терапия с использованием пучков протонов может дать существенные преимущества, составляет порядка 50 тысяч больных в год. Поэтому развитие современных и эффективных решений для лечения таких пациентов является крайне актуальной задачей на многие годы вперед.

Пучки протонов и ускоренных ядер легких элементов имеют преимущества перед традиционными методами лучевой терапии (гамма- и рентгеновским излучением, пучками ускоренных электронов) в связи с тем, что отдают свою энергию в конце пробега в среде, в связи с чем при правильном выборе энергии пучка достигается максимальный уровень облучения опухоли при меньшем уровне облучения нормальных тканей и критических органов.

Советский Союз с конца 50-х годов прошлого века был одним из мировых лидеров в разработке и внедрении методов и технологических решений для протонной лучевой терапии. Первый в СССР протонный пучок с необходимыми параметрами был сформирован в 1967 г. в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна на ускорителе синхроциклотрон. Именно на этом ускорителе были начаты первые радиобиологические и клинические исследования на пучках протонов. В ОИЯИ впервые была разработана и успешно применена техника трехмерного конформного облучения глубоко залегающих опухолей. За время работы медицинского протонного пучка в Дубне пролечено более 1300 пациентов.

В настоящее время в нашей стране действует лишь три клинических центра протонной терапии на базе МРНЦ им. А.Ф. Цыба (г. Обнинск), ФНКЦРиО ФМБА России (г. Дмитровград) и МИБС (г. Санкт-Петербург), что недостаточно для обеспечения специализированной медицинской помощи онкологическим пациентам.

В ОИЯИ разработан проект отечественного сверхпроводящего компактного протонного циклотрона MSC-230 с параметрами, превосходящими зарубежные аналоги. MSC-230 представляет собой изохронный четырехсекторный компактный циклотрон с магнитным полем в центре 1,7 Тл. Конструктивные особенности получения пучка протонов высокой интенсивности с энергией до 230 МэВ допускают реализацию экспериментального режима облучения с высокой мощностью дозы (флэш-терапия), что по указанию ряда исследований позволит существенно сократить негативные эффекты в нормальных тканях. Инновационная отечественная технология изготовления катушек магнитов из высокотемпературных

сверхпроводников, разработанная для мегасайенс проекта NICA, позволит существенно повысить эксплуатационные характеристики машины. Производство опытного образца ведется совместно с НИИЭФА им. Д.В. Ефремова (ГК Росатом). Такая установка может стать пилотным образцом для серии отечественных специализированных медицинских ускорителей.

ФМБА России и ОИЯИ выразили намерение принять участие в разработке совместного научно-клинического центра протонной терапии в Дубне на основе ускорителя MSC-230. Приоритетными задачами на первом этапе работы центра станут разработка и развитие новейших методик протонной терапии на основе международной научной программы радиобиологических исследований и реализации прорывных технологических решений отечественного производства для осуществления диагностики, планирования и проведения облучения пациентов.

В технологической программе центра предполагается развитие новых методов диагностики на основе энергочувствительной рентгеновской томографии и протонной томографии с использованием имеющегося у ОИЯИ и партнеров задела в разработке полупроводниковых детекторов. При этом крайне важно обеспечить разработку отечественного программного обеспечения для планирования облучения.

Для снижения лучевой нагрузки на нормальные ткани предполагается реализация экспериментальных режимов облучения с высокой мощностью дозы (флэш-терапия), а также схем пространственного фракционирования (мини- и микро-пучки), что влечет за собой разработку новых систем прецизионной дозиметрии и верификации. Для придания конформности дозного распределения протонного пучка по объему опухоли с учетом специфики новых режимов облучения могут быть реализованы различные решения, как уже ставшая современным стандартом система развертки, формирующая так называемый «карандашный пучок», так и дальнейшее развитие систем пассивного рассеяния. Система автоматизированных многолепестковых коллиматоров, разработанная и запатентованная в ОИЯИ, позволяет устранить типичные недостатки второго метода, в частности, сократить время сеанса облучения, уменьшить наведенную радиоактивность в помещении, снизить трудозатраты и стоимость по сравнению с применением индивидуальных коллиматоров.

Немаловажную роль в обеспечении качества терапии и снижения ее себестоимости может сыграть разработка систем транспортировки пучка и позиционирования пациента, альтернативных дорогостоящим «гантри», которые в настоящее время не производятся в Российской Федерации. На первых этапах функционирования центра вполне реалистичной представляется реализация схемы позиционирования с фиксированными пучками при расположении пациента лежа и синхронизацией облучения движущихся органов.

Радиобиологами ОИЯИ совместно со специалистами НМИЦ Радиологии Минздрава России и ряда учреждений ФМБА России разработаны и запатентованы новые подходы к повышению эффективности протонной терапии на основе усиления радиочувствительности путем модификации радиационных нарушений в генетических структурах опухолевых клеток. Для дальнейшего развития фундаментальных и прикладных разработок в области радиационной биологии и медицины необходимо проведение комплексных исследований, на-

правленных на выяснение механизмов, лежащих в основе повышения эффективности биологического действия протонных и фотонных пучков на радиорезистентные опухолевые клетки на молекулярном, клеточном и тканевом уровне, а также моделирование радиационного воздействия на опухолевые образования, привитые лабораторным животным.

В молекулярно-радиобиологических исследованиях планируется изучить влияние перспективных молекулярно-биологических комплексов на выживаемость различных линий нормальных и опухолевых клеток, исследовать в них кинетику формирования и репарации двунитевых разрывов ДНК при различных схемах фракционирования облучения, концентрациях препарата и уровнях клеточной гипоксии. Немаловажное значение имеет взаимодействие с партнерами из биохимических или фармакологических институтов по разработке методов адресной доставки молекулярно-биологических комплексов в различные типы опухолевых клеток, что позволит повысить прецизионность протонной терапии, а в перспективе расширить область применения новых радиосенсибилизаторов в лучевой терапии с использованием стандартных клинических гамма- и рентгеновских установок.

Помимо опытов на клеточных культурах, для полноценной проверки новых методов и последующего перехода к предклинической стадии испытаний в рамках центра необходимо масштабное проведение опытов на мелких лабораторных животных (крысы, мыши) с трансплантированными опухолевыми клетками. В ходе работ предстоит исследовать влияние различных радиомодификаторов совместно с облучением протонами на выживаемость животных и динамику роста опухоли, а также различные методы выбора доз и схем фракционирования. Для более детального анализа состояния клеток опухоли в разные сроки после трансплантации осуществляется взятие опухолевого материала для анализа количества опухолевых стволовых клеток, пролиферативной активности клеток опухолевого очага, васкуляризация опухолей. Необходимо исследовать уровень экспрессии генов, участвующих в контроле клеточного цикла и пролиферации, стволового состояния, эпителиально-мезенхимальной транзиции, клеточной гибели, ангиогенеза, иммунного ответа. Планируется применение современных методов геномики, протеомики и метаболомики на основе оборудования организаций-партнеров, куда поставляются образцы биологического материала для последующего комплексного анализа.

Для проведения биодозиметрии, оценки побочных эффектов новых методов лучевой терапии и выявления отдаленных последствий в генетическом аппарате будут проведены цитогенетические исследования в опытах на животных, исследован выход хромосомных aberrаций в костном мозге и лимфоцитах крови при остром и фракционированном облучении одновременно с изучением радиационно-индуцированного ответа гематопэтической, иммунной и других регуляторных систем организма. Для полномасштабной оценки последствий протонной терапии и анализа качества жизни пациентов не в последнюю очередь играет роль состояние центральной нервной системы, в особенности, если проводилась терапия в области головы. В связи с этим методами радиационной физиологии будет проведено изучение нарушений поведенческих реакций облученных лабо-

раторных животных, патоморфологических изменений в различных структурах головного и спинного мозга, критических органах и системах грызунов.

Возрастающая сложность инновационных методов протонной терапии влечет за собой необходимость разработки детальных математических и компьютерных моделей для прогнозирования и оптимизации терапии с учетом совокупности протекающих биологических процессов и индивидуальных особенностей пациента. Соответствующий модуль к программе планирования терапии несмотря на высокие требования к вычислительным ресурсам может существенно облегчить работу врача-радиолога.

Достигнутые научные и технические разработки могут быть внедрены на следующем этапе при развертывании клинического центра на базе существующего в Дубне подразделения ФБУЗ МСЧ № 9 ФМБА России. Таким образом, сочетание инновационных технологических решений на базе создаваемого ускорителя и перспективных молекулярно-биологических методов обеспечит новый этап в совершенствовании лучевой терапии злокачественных опухолей.

По итогам заседания общего собрания Отделения медицинских наук РАН 11.12.2023г. принято следующее постановление: разработанный в ОИЯИ проект отечественного сверхпроводящего компактного протонного циклотрона MSC-230 может стать основой медико-биологического центра в г. Дубна и пилотным образцом для серии отечественных специализированных медицинских ускорителей, для чего необходимо ускорить завершение работ и зарегистрировать изделие в ФМБА России. Необходимо рассмотреть вопрос о соглашении ОИЯИ и РАН по вопросу создания сверхпроводящего компактного протонного циклотрона MSC-230 и участия в разработке Научно-клинического центра протонной терапии на его основе.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН С.В. ВИССАРИОНОВ «КОНЦЕПЦИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК В ДЕТСКОЙ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАНАХ СНГ»

Детская травматология и ортопедия является развивающимся направлением медицинской науки, которая разрабатывает и внедряет новые современные технологии консервативного и хирургического лечения детей с патологией опорно-двигательного аппарата, основанные на фундаментальных и прикладных исследованиях.

Одним из разделов национального проекта развития нашей страны является здравоохранение. В нем обозначены снижение показателей смертности населения, в частности, младенческой смертности. Обеспечение охвата всех граждан медицинскими осмотрами не реже одного раза в год. Внедрение инновационных медицинских технологий, включая систему ранней диагностики, и дистанционный мониторинг состояния здоровья пациента. Развитие детского здравоохранения, включая создание современной инфраструктуры оказания медицинской помощи детям.

Развитие этих направлений в системе здравоохранения является важной и первостепенной задачей отечественной медицины, которые нашли реализацию в травматологии и ортопедии детского возраста.

В последние годы уровень детского травматизма имеет тенденцию к стабилизации, составляя 103-106‰ на 1 тыс. детского населения в возрасте до 14 лет и 174-177‰ – у подростков. В структуре детского травматизма как в Санкт-Петербурге (как одном из субъектов Северо-Западного федерального округа), так и по всей территории Российской Федерации преобладает бытовой и уличный травматизм. Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что в последние годы тяжесть самой травмы становится более значительной. Ежегодно в Санкт-Петербурге и Ленинградской области от 30 до 37 детей получают тяжелую травму позвоночника, требующую экстренного и неотложного хирургического лечения. Большинство из них – это пациенты с нестабильными переломами позвоночника, другая часть – дети с повреждением позвоночного столба и спинного мозга. Если в 2010 году 85,7% приходилось на нестабильные повреждения и только 14,3% составляли осложненными переломами, то в 2020 году на долю повреждений позвоночника и спинного мозга приходилось уже 32,4% пострадавших.

Основными принципами лечения детей с повреждением опорно-двигательной системы являются: 1. полноценное восстановление анатомических взаимоотношений в поврежденном отделе опорно-двигательного аппарата; 2. применение минимально-инвазивных хирургических технологий; 3. стабильная фиксации травмированного сегмента с учетом роста и развития организма ребенка; 4. ран-

няя реабилитация пациента с целью восстановления функции поврежденного отдела опорно-двигательной системы; 5. социальная адаптация ребенка.

Состояние травматических повреждений опорно-двигательного аппарата – эта ситуация, которая требует мгновенного принятия решений и экстренной хирургической помощи. Проведение телемедицинских консультаций является неотъемлемой составляющей современного уровня оказания помощи детям с тяжелыми повреждениями опорно-двигательного аппарата. На сегодняшний день такая система выстроена в нашем центре с ведущими детскими медицинскими учреждениями во всех регионах нашей страны. В настоящее время у нас организован формат проведения экстренных телемедицинских консультаций. В структуре нашего учреждения организованы 2 федеральных центра, которые оказывают экстренную и неотложную хирургическую помощь детям с травмами опорно-двигательного аппарата. Каждый из этих центров имеет свою уникальность. Уникальность первого федерального центра повреждений позвоночника и спинного мозга заключается в организации системы помощи детям с нестабильными и осложненными переломами позвоночника и повреждениями спинного мозга, которая обеспечивает выполнение хирургического лечения в первые часы и сутки от момента травмы. Уникальность второго центра детской травматологии заключается в мультидисциплинарном подходе специалистов, репозиции и стабилизации множественных повреждений опорно-двигательного аппарата с использованием минимально инвазивных технологий на всех уровнях за одно хирургическое вмешательство.

Разработка и создание медицинских изделий (ортезов, корсетов, функциональных аппаратов) в настоящее время является еще одним инновационным направлением развития в детской травматологии и ортопедии. Оно может использоваться в трех направлениях. Организация и создание малых инновационных предприятий на базе федеральных Центров с целью реализации и внедрения научных разработок в практическое здравоохранение является индикатором востребованности учреждения. МИП занимается внедрением разработанных медицинских изделий при патологии опорно-двигательного аппарата в клиническую практику.

В структуре ортопедической патологии у пациентов детского возраста прослеживается отчетливая тенденция к увеличению числа болезней костно-мышечной системы с 641 в 2019 году до 904 детей в 2022 году на 10 тыс. детского населения. Особенно эти показатели резко возрастают в подростковом периоде. Ключевым моментом в успешном результате лечения ребенка с ортопедической патологией является создание системы ранней диагностики, включающей пренатальную диагностику на основе УЗИ исследования, скрининг-диагностику ортопедов с первых дней жизни ребенка, начиная с родильных домов, с формированием ортопедического паспорта ребенка.

Одной из самых распространенных ортопедических проблем у детей является деформация верхних и нижних конечностей, формирующаяся в результате врожденной патологии или последствий травмы. Разработанный аппарат ОРТО-СУВ на базе пассивной компьютерной навигации позволяет на основе оригинальной кинематической платформы, с математической точностью устранять многоплоскостные деформации конечностей любой сложности.

При врожденных деформациях в области крупных суставов, обусловленных различной активностью ростковых зон, у пациентов детского возраста применяется методика управляемого роста. При помощи отечественных металлоконструкций с использованием минимально-инвазивных хирургических технологий осуществляется временное блокирование наиболее активных зон роста на стороне, создающей деформацию в области суставов, что позволяет полностью исправить искривление конечности и создать условия для её дальнейшего нормального роста.

Около 50% детей с врожденными деформациями позвоночника имеют злокачественное прогрессирующее развитие искривления. Наш анализ оценки характера течения врожденной деформации при первичном обращении к специалисту основан на проведении молекулярно-генетического и биохимического исследования. Выявление маркеров прогрессирующего характера течения позволяет с достоверностью до 85% выделить пациентов группы риска, которым показано раннее хирургическое вмешательство. Технологии 3D-моделирования у детей с врожденными деформациями позвоночника позволяют четко оценить зону искривления, анатомо-антропометрические и пространственные взаимоотношения тел позвонков, спланировать объем хирургического вмешательства. Благодаря разработанным отечественным спинальным системам в ходе единственной операции у детей до 3 лет путем идеальной установки опорных элементов конструкции при помощи шаблонов, изготовленных с применением компьютерных технологий, достигается радикальная коррекция врожденной деформации с фиксацией минимального количества позвоночно-двигательных сегментов. Разработана серия металлоконструкций для коррекции врожденной деформации позвоночника и формы грудной клетки, обеспечивающая условия для нормального развития легких и внутренних органов.

Технологии 3D-моделирования широко используются в планировании операций у пациентов с патологией тазобедренного сустава. Путем оценки изменений бедренного и тазового компонентов четко планируется уровень остеотомии, углы ликвидации всех видов дислокационных нарушений и места установки фиксирующих винтов для пластины с целью стабильного удержания достигнутого результата. Это позволяет восстановить правильную анатомию и взаимоотношения в тазобедренном суставе.

Изучение анатомо-антропометрических параметров и пространственных взаимоотношений костных структур тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом позволило установить прямые корреляционные связи между величиной основной дуги искривления, величиной ротации апикального позвонка и асимметрией площадей поперечного и продольного диаметра корней дуг позвонков на выпуклой и вогнутой стороне деформации. Это послужило основой разработки индивидуальных хирургических технологий в зависимости от типа деформации, обеспечило возможность корректно проводить транспедикулярные опорные элементы металлоконструкции в ходе операции при помощи навигационной установки, получая практически полную коррекцию искривления, восстановление фронтального и сагиттального баланса туловища.

В Центре организовано отделение и создана система оказания помощи детям с артрогрипозом с момента рождения до завершения роста. Идеологический подход включает раннюю консервативную терапию и гипсование конечностей, ряд

этапных хирургических вмешательств – пересадка комплекса тканей на сосудистой ножке с использованием микрохирургической техники с целью восстановления двигательной активности в суставах, реконструктивные вмешательства на верхних и нижних конечностях с целью устранения контрактур и формирования физиологических взаимоотношений в дистальных сегментах.

У пациентов с ДЦП выполняются комплексные нейрохирургические и ортопедические вмешательства. Проведение ризо- и невротомий позволяет снизить уровень патологической спастичности мышц и вертикализировать ребенка. Осуществление ортопедических вмешательств на мышечно-связочном аппарате и костных структурах позволяют ликвидировать контрактуры в суставах и добиться восстановления физиологических взаимоотношений дистальных отделов конечностей. Последующая реабилитация с применением неинвазивной стимуляции спинного мозга (разработанной экспериментально) в сочетании с роботизированными системами Локомат и Армео обеспечивает восстановление функции и социальную адаптацию ребенка.

Таким образом, направление детской травматологии и ортопедии, основанное на концептуальной модели, включающее раннюю диагностику заболеваний и повреждений опорно-двигательного аппарата, мультидисциплинарный подход, своевременные и современные хирургические вмешательства с использованием технологий 3D-моделирования и прототипирования, навигационных систем с регулярным диспансерным наблюдением, позволило сократить сроки стационарного лечения в 1,5-2 раза, уменьшить расходы на 15%–20% и снизить уровень инвалидности детского населения с ортопедической патологией в 2-3 раза. Созданные серийные отечественные металлоконструкции для оперативного лечения детей с патологией конечностей и позвоночника позволили уменьшить расходы на приобретение имплантатов в 3-5 раз по сравнению с импортными аналогами.

Ведущую роль в коммерциализации интеллектуальной собственности в современных условиях играют лицензионные договора. Одновременно с этим формируется глобальный рынок лицензий как специфическая форма обмена результатами интеллектуальной деятельности.

По лицензионному соглашению на патент Российской Федерации (изобретение Российской Федерации на метод лечения или медицинское изделие) правообладатель предоставляет правополучателю возможность пользоваться созданным техническим решением на основании исключительной или неисключительной лицензии. Право собственности остается за лицензиаром. Договор составляется в определенном порядке и предусматривает безвозмездную основу для медицинских организаций или выплату роялти лицензиару от объема реализованной продукции со стороны индустриального партнера.

АКАДЕМИК РАН В.Г. АКИМКИН
«СОВРЕМЕННЫЕ МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ: ОТ НАУЧНОЙ ИДЕИ ДО МАССОВОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ»

Общее собрание Отделения медицинских наук РАН, заслушав и обсудив доклад академика РАН Акимкина В.Г. «Современные молекулярно-биологические методы диагностики возбудителей инфекционных болезней: от научной идеи до массового промышленного производства. Настоящее и будущее», отмечает, что использование передовых молекулярных методов в выявлении и прогнозировании распространения инфекционных заболеваний является ключевым направлением в современной эпидемиологии.

XXI век ознаменовал собой эпоху глобальных перемен, но, несмотря на все достижения мировой науки, проблемы инфекционной патологии и сегодня не утрачивают своей актуальности. Благодаря усилиям ученых, распространенность многих инфекционных заболеваний постепенно снижается. В то же время природа ставит новые, все более сложные задачи, которые предстоит решить мировому научному сообществу.

Пандемия новой коронавирусной инфекции наглядно продемонстрировала миру его уязвимость. Очевидно, что именно своевременная и точная диагностика инфекционных заболеваний в сжатые сроки является в наше время важнейшим условием эпидемиологического благополучия населения. Учитывая это, в целях реализации Концепции технологического развития Российской Федерации (распоряжение Правительства Российской Федерации № 1315-р от 20 мая 2023 г.), нашей стране необходима система биобезопасности, основанная на быстром внедрении инноваций в области медицинских, биотехнологических, химических и информационных технологий. Эти направления являются ключевыми в обеспечении технологического и экономического суверенитета Российской Федерации.

По данным ВОЗ инфекционные болезни занимают третье место в структуре общей смертности в мире (ВОЗ, 2019 г.). До пандемии COVID-19 в Российской Федерации ежегодно регистрировалось 32-37 млн случаев инфекционных болезней, в 2021-2022 гг. – более 50 млн случаев. В 2022 г. прямые и косвенные потери от инфекционных болезней в Российской Федерации составили более 1,6 трлн рублей. За время пандемии COVID-19 в мире зарегистрировано более 770 млн случаев и 7,0 млн смертей, в Российской Федерации – более 23 млн и более 400 тыс., соответственно.

Одним из основных инструментов в борьбе с инфекционными болезнями является точная и своевременная диагностика. Современные технологии диагностики включают различные методы: это выявление нуклеиновых кислот возбудителя с помощью различных методов амплификации нуклеиновых кислот (МАНК): полимеразной цепной реакции (ПЦР) или изотермической амплификации; выявление антигенов или антител к возбудителю с помощью серологической диагностики в форматах ИФА или ИХА; технологии с использованием биочипов; различные методы секвенирования, в том числе секвенирование нового поколения (NGS) – прорывная технология идентификации патогенов; а также технологии редактирования генома – современное направление в создании диагностических наборов нового поколения.

На сегодняшний день «золотым» стандартом диагностики безусловно является технология ПЦР. Этот метод обеспечивает точное и достоверное выявление генетического материала возбудителя, обладает высокой чувствительностью (на уровне 10³ коп/мл) и практически 100% специфичностью. Для проведения реакции применяется сравнительно простое и доступное оборудование, а время анализа с учетом стадии выделения нуклеиновых кислот составляет 4-6 часов.

Пандемия COVID-19 показала, что для оперативного реагирования на возникающие биологические угрозы и вызовы необходимо повышать пропускную способность существующей медицинской и диагностической инфраструктуры. Тесты на основе ОТ-ПЦР требуют минимум 3-4,5 часа на проведение анализа, а общее время исследования от момента поступления материала в лабораторию до оформления официального результата может составлять до 8-12 часов. Очевидно, существует потребность активного внедрения различных вариантов тестирования в экспресс-формате. Одним из таких подходов является развитие и внедрение новых методов экспресс-диагностики, основанных, например, на изотермической амплификации нуклеиновых кислот. Основная цель разработки таких тестов – сокращение времени анализа, необходимого при массовом скрининге населения во время пандемии, сохранив чувствительность и специфичность тестов на уровне ПЦР-исследования.

Важным результатом борьбы с пандемией стало создание новой для ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора (Институт) платформы для молекулярной диагностики с помощью одного из методов изотермической амплификации – петлевой изотермической амплификации – LAMP. В данном подходе система из 4-6 праймеров обеспечивает высокую специфичность системы и лавинообразный рост накопления продуктов реакции. Полимераза с вытесняющей активностью дает возможность проведения реакции при одной температуре. Время анализа при этом составляет всего 25-30 мин.

В настоящий момент в Институте разработаны и внедрены на производство 14 наборов реагентов на основе данной технологии: для выявления РНК вируса гриппа А, гриппа В, РНК SARS-CoV-2 одновременно по двум мишеням; на этапе внедрения на производство наборы реагентов: для выявления ДНК *Mycobacterium tuberculosis*, ДНК метицилинустойчивого золотистого стафилококка; на этапе разработки наборы реагентов: для выявления ДНК *Aspergillus niger*, ДНК *Candida auris*. Все перечисленные наборы реагентов позволяют выявлять ДНК/РНК инфекционного

патогена в течение 20-30 минут. Все наборы реагентов адаптированы к наиболее распространенным моделям оборудования, которые используются в лабораториях, проводящих ПЦР-диагностику, в том числе российского производства.

Внедрение в арсенал современной медицины мультиплексной диагностики, позволяющей анализировать множество маркеров заболеваний, позволит при одинаковых затратах ресурсов увеличить пропускную способность лабораторий и количество данных, получаемых в ходе одного анализа. Применение мультиплексного анализа целесообразно при диагностике заболеваний, имеющих сходные пути передачи, симптомы и ареал распространения.

Одной из самых прорывных современных технологий идентификации патогенов безусловно является секвенирование нового поколения. Активное развитие подходов и технологий в области NGS секвенирования привело к кардинальному снижению стоимости прочтения геномов, повышению производительности платформ и уменьшению числа ошибок.

Области применения NGS секвенирования в биологии и медицине включают диагностику наследственных и онкологических заболеваний, генетические исследования, выявление возбудителей инфекционных заболеваний, генотипирование бактериальных и вирусных патогенов, изучение их изменчивости, использование в криминалистике и множестве других областей.

В исследовании патогенов вирусной природы секвенирование нового поколения позволяет выявлять этиологический фактор заболевания, проводить мониторинг изменчивости патогена, выявлять филогенетические связи, изучать пути передачи возбудителя, проводить расследование причин вспышек заболеваемости. Основное преимущество метода – это возможность обнаружения и идентификации неизвестных ранее патогенов.

Два основных подхода в технологии NGS для изучения полных геномов вирусных патогенов включают метагеномный подход – универсальный метод исследования тотальных ДНК/РНК, выделенных из биологического материала, с целью выявления неизвестных патогенов, и изучение уже известных патогенов с помощью обогащения образцов, путем амплификации целевых НК с набором специфических праймеров. Это позволяет повысить чувствительность системы и одновременно существенно снижает стоимость исследования.

Такой подход реализован в ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора. Разработана собственная панель для амплификации генома коронавируса SARS-Cov-2. Модифицированные праймеры позволяют создавать полногеномные библиотеки для секвенирования в два этапа ПЦР, минуя дорогостоящие и трудоемкие этапы. Панель обеспечивает оптимальный охват и качество данных NGS на платформах секвенирования Illumina™, что обеспечивает невысокую себестоимость секвенирования полного генома.

В случае с COVID-19 молекулярно-генетический мониторинг изменчивости генома вируса стал важным направлением эпидемиологических исследований, так как это позволило установить связи между циркулирующими геновариантами вируса и особенностями проявления эпидемического процесса. В рамках исполнения постановлений Правительства Российской Федерации № 448 от 23.03.2021 г.; № 2178 от 02.12.2021 г.; № 2395 от 23.12.2022 г. специалистами Роспотребнадзо-

ра развернута масштабная работа по секвенированию и биоинформатическому анализу геномов коронавируса SARS-CoV-2 и выявлению как известных, так и новых вариантов патогена.

В Российской Федерации в 2021 году на базе ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 23.03.2021 № 448 "Об утверждении Временного порядка предоставления данных расшифровки генома возбудителя новой коронавирусной инфекции (COVID-19)" была разработана и создана (свидетельство о государственной регистрации № 2021621178 от 02.06.2021 г.) Национальная Платформа VGARus (Virus Genome Aggregator of Russia) с целью агрегирования и анализа данных о геномах вирусов SARS CoV 2, выявленных в Российской Федерации. Платформа позволяет осуществлять централизованный сбор и анализ данных о структуре и динамике выявленных вариантов вируса, что позволяет оперативно оценивать эпидемиологическую ситуацию в стране и принимать эффективные меры по ее контролю (веб-сайт платформы VGARus - genome.crie.ru).

На сегодняшний день продолжается депонирование данных секвенирования на Платформу, включая соответствующие метаданные, проводится активная работа по расширению спектра анализируемых геномов возбудителей других инфекционных болезней. К Платформе сегодня подключены более 150 организаций, 60 секвенирующих лабораторий. В проекте участвуют Российская Федерация, Республика Беларусь и Республика Армения. Передача информации осуществляется по защищенным каналам связи. Всего загружено геномных последовательностей: 305 000 (188 000 – полные); в т.ч. SARS-CoV-2 – 287 000 (187 000 – полные).

В апреле 2021 года Президент Российской Федерации В.В. Путин в своем послании к Федеральному Собранию (от 21.04.2014) обозначил основные направления в построении современной системы управления санитарными и биологическими рисками в Российской Федерации. Одним из ключевых тезисов было создание мощного и надежного щита в сфере санитарной и биологической безопасности с максимально возможным использованием российского оборудования и отечественных компонентов. В своем выступлении Глава Государства особо отметил необходимость разработки технологий, которые позволят разрабатывать тест-системы для выявления патогенов за четыре дня. Срок исполнения поручения был поставлен к 2030 году.

Для реализации поручения в области быстрой разработки тест-систем необходимо прежде всего развивать научный и производственный потенциал следующих ключевых компонентов наборов для ПЦР: ферменты, олигонуклеотиды, контрольные образцы и наборы для выделения и очистки ДНК/РНК из различных видов биоматериала. Следует отметить, что эти компоненты входят в состав всех видов наборов реагентов, основанных на методах амплификации нуклеиновых кислот (МАНК).

Стратегию разработки тест-систем на основе МАНК, в том числе за 4 дня, можно разбить на несколько этапов. Во-первых, необходимо получить информацию о геноме возбудителя инфекции. Это может быть как информация из базы данных геномов, например, платформы VGARus, так и геномная последовательность, полученная различными методами секвенирования. Следующим важным

этапом является разработка олигонуклеотидных последовательностей (праймеров и флуоресцентных зондов) для будущего набора. Далее следует подбор оптимального эффективного метода выделения и очистки ДНК/РНК и подбор ферментов, которые позволят создать высокочувствительный тест. Завершающим этапом после наработки всех необходимых компонентов является тестирование набора на клинических образцах и определение аналитических характеристик набора.

Олигонуклеотиды (праймеры и флуоресцентные зонды) являются одними из ключевых компонентов любого ПЦР-набора. Недавняя пандемия коронавирусной инфекции показала, что одним из узких мест для быстрого масштабного выпуска тестов в формате ПЦР и изотермической амплификации является быстрая разработка и синтез олигонуклеотидов. Причем проблемы возникали как для синтеза в малых количествах, так и в случае синтеза больших объемов для промышленного выпуска наборов. В начале 2023 года ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора завершил реализацию амбициозного проекта – строительства научно-производственной лаборатории по синтезу и созданию олигонуклеотидов и запустил новое производство. Новое подразделение Института будет отвечать за синтез олигонуклеотидных праймеров и зондов, которые наряду с ферментами являются ключевыми компонентами ПЦР-наборов. Также олигонуклеотиды используются в секвенировании нуклеиновых кислот, сборке генов, клонировании в качестве аптамеров и т.д. Наличие собственного олигосинтеза, ферментов собственного производства, а также имеющиеся возможности для выпуска целого ряда различных наборов для выделения и очистки нуклеиновых кислот позволят в конечном счете создать в Институте полноценную платформу для быстрой разработки и внедрения в производство ПЦР наборов и протоколов для секвенирования за минимальный срок.

Производственные мощности нового комплекса, а также коллектив ученых и технологов позволяют синтезировать олигонуклеотиды в любых объемах и в конечном счете позволят обеспечить не только потребности Института, но и работу научных учреждений Роспотребнадзора и других ведомств.

Сегодня в ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора разработаны, внедрены, производятся и активно используются при производстве наборов реагентов самые разнообразные ферменты для молекулярной биологии. Это и ДНК-зависимые ДНК-полимеразы: полимеразы Taq, полимеразы для горячего старта TaqF, полимеразы Bst; ДНК-зависимая РНК-полимераза бактериофага T7; РНК-зависимые ДНК-полимеразы или обратные транскриптазы/ревертазы: ревертаза MMLV, ревертаза AMV; Рибонуклеаза H, урацил-ДНК-гликозилаза (УДГ), протеиназа K. Следует особо отметить, что в Институте ведется постоянная научная работа по увеличению эффективности работы ферментов, повышению их устойчивости к всевозможным ингибиторам и разработке и получению новых ферментов для ускоренно развивающихся в последнее время методов амплификации нуклеиновых кислот.

Выпускаемые Институтом ферменты не уступают по своим свойствам зарубежным аналогам, соответствуют критериям качества продукции, обеспечивают необходимый уровень каталитической активности, обладают устойчивостью к основным ингибиторам и обеспечивают высокое качество выпускаемой продукции. Они являются основой для выпуска наборов реагентов для выделения

нуклеиновых кислот и широкого спектра тест-систем для диагностики заболеваний человека и животных как в формате ПЦР в режиме реального времени, так и в форматах LAMP и NASBA. Помимо самих ферментов производятся соответствующие буферные растворы, обеспечивающие оптимальные условия для их работы. Благодаря собственному производству стоимость ферментов стала практически в 50 раз ниже зарубежных (!), при этом их качество не уступает зарубежным аналогам.

Внедрение собственных инновационных разработок и передовых методов молекулярной диагностики в систему санитарно-эпидемиологического надзора и практическое здравоохранение – одна из важнейших задач ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора. Институт обладает 22-летним опытом производства медицинских изделий для *in vitro* диагностики. Практические результаты получены в рамках выполнения национальных и федеральных целевых программ по развитию фармацевтической и медицинской промышленности, постановлений и распоряжений Правительства Российской Федерации.

Наборы реагентов для диагностики *in vitro* характеризуются высоким качеством, не уступающим зарубежным производителям, и при этом остаются экономически выгодными для потребителей. Более 3 000 клиническо-диагностических лабораторий, медицинских центров и государственных учреждений используют результаты научных разработок Института в своей повседневной работе.

На сегодняшний день в Институте зарегистрировано/ задекларировано более 200 наборов реагентов, обеспечивающих диагностику более 120 инфекционных болезней человека. Также выпускается более 40 ветеринарных тест-систем, до 1 000 000 единиц продукции выпускается ежегодно. В период пандемии COVID-19 объем производства был увеличен в 6 раз, по отдельным наборам реагентов – в 40 раз! Поставка продукции осуществляется более чем в 40 стран мира.

Редактирование генома за короткое время заняло лидирующие позиции среди технологий модификации генома и сейчас широко применяется в различных областях биотехнологии. Системы направленного редактирования генома CRISPR/Cas могут быть адаптированы для терапии социально значимых инфекций, таких как ВИЧ, а также наследственных и приобретенных заболеваний, среди которых рак, аутоиммунные и орфанные заболевания. Кроме того, с применением белков CRISPR/Cas также может быть решена задача по своевременной диагностике инфекционных заболеваний человека.

Ученые Центрального НИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора разработали технологию получения белков направленного редактирования генома CRISPR/Cas. Более того, разработан и оптимизирован протокол лиофилизации белков CRISPR/Cas, позволяющий получать активные препараты, пригодные для транспортировки и хранения при комнатной температуре. Уже к марту 2024 г. на территории ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора запланирован запуск полупромышленного цикла производства препаратов белков CRISPR/Cas для научно-исследовательских целей, для разработки терапевтических и диагностических препаратов. Первая очередь производства будет включать 8 лиофильно высушенных ферментов CRISPR/Cas, в том числе высокоочищенных с низким содержанием бактериальных эндотоксинов. Выпуск такой линейки продукции

белков обеспечит полную потребность ученых страны, снизит бремя закупок за рубежом и обеспечит технологическую независимость Российской Федерации в сфере реагентов для редактирования генома.

С целью внедрения генетических технологий для создания диагностических наборов «нового поколения» разработана технология выявления единичных копий нуклеиновых кислот возбудителей инфекционных заболеваний, основанная на CRISPR/Cas детекции, которая позволяет ультрачувствительно выявлять единичные копии нуклеиновых кислот в образцах после предварительной амплификации. Технология апробирована на ДНК/РНК ВИЧ-1, РНК SARS-CoV-2, ДНК вируса Джона Каннингема, ДНК вируса гепатита В, РНК вируса гепатита С (выдан 21 патент Российской Федерации, опубликовано 4 международных заявки по системе PCT). По данным Роспатента патент, посвященный выявлению ДНК вируса Джона Каннингема в ультранизких концентрациях (№ 2747819), вошел в 100 лучших изобретений 2021 года (3-е место в списке) и внесен в базу данных «Перспективные изобретения».

К марту 2024 г. ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора внедрит в производство платформенные решения по подготовке диагностических систем на основе амплификации, совмещенной с CRISPR/Cas детекцией, что обеспечит возможность разработки уникальных тест-систем, не требующих применения высокотехнологичного оборудования (в том числе применимых в полевых условиях для обеспечения биобезопасности и у постели больного).

Антибиотикоустойчивые патогенные микроорганизмы стали проблемой современного здравоохранения, так как устойчивость к антибиотикам приводит к увеличению медицинских расходов, длительному пребыванию в больнице и увеличению смертности. В связи с этим крайне актуальной остается задача разработки новых эффективных методик выявления генов антибиотикоустойчивости у бактериальных патогенов, основанных на генетических технологиях, таких как CRISPR/Cas. В ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора разработана технология, основанная на CRISPR/Cas детекции, для ультрачувствительного выявления единичных копий генов антибиотикоустойчивости у синегнойной палочки (blaVIM-2, ehoU) и золотистого стафилококка (mecA). На сегодняшний день выдано 9 патентов Российской Федерации и опубликовано 3 международных заявки на патент по системе PCT. Патент, посвященный выявлению гена антибиотикоустойчивости синегнойной палочки в ультранизких концентрациях (№ 2743861), по данным Роспатента вошел в пятерку лучших медицинских изобретений по итогам первого квартала 2021 года.

Также, на базе ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора проводятся разработки моделей гуманизированных мышей для изучения ВИЧ-инфекции, а также для исследований эффективности генотерапевтических препаратов против ВИЧ на основе белковых комплексов системы CRISPR/CAS собственного производства. Проведены пилотные эксперименты по гуманизации иммунодефицитных лабораторных мышей и отработаны протоколы гуманизации животных Т-клетками человека и мононуклеарными клетками крови человека. Успешная гуманизация (до 90% клеток крови человека) была достигнута при применении протокола с применением гамма-излучения с последующим введением животным мононуклеарных клеток крови человека.

Полученные учеными ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора результаты создают важный научно-технический задел для реализации широкого спектра фундаментальных и прикладных научно-исследовательских проектов с применением технологий направленного редактирования генома. Полученные результаты способны существенно ускорить развитие генетических технологий в Российской Федерации.

На базе ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора реализована разработка современных диагностических тест-систем, новых технологий диагностики инфекционных болезней, внедрено производство высоко-технологичной продукции замкнутого цикла, включающее собственное производство основных критически-важных компонентов (олигонуклеотиды, ферменты, контрольные образцы) диагностических наборов. Деятельность Института включает образовательную, исследовательскую и производственную базу и в полной мере соответствует реализации основных задач Концепции технологического развития на период до 2030 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 № 1315-р) и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642).

ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН

АКАДЕМИК РАН А.В. АДРИАНОВ «БИОРЕСУРСЫ МИРОВОГО ОКЕАНА ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭКОНОМИКИ»

Согласно отчету ФАО о состоянии продовольственной безопасности населения планеты [1], в 2022 г. около 2,4 млрд человек имели ограниченный доступ к безопасным и здоровым продуктам питания, а от 690 до 783 млн человек страдали от голода. По прогнозу ФАО, даже в 2030 г. от хронического недоедания будут страдать до 600 млн человек. Проблемы продовольственной безопасности связаны не только с постоянно растущим населением планеты, но и ограниченностью ресурсного потенциала имеющихся сельскохозяйственных земель даже при развитии современных технологий.

В условиях ограниченности ресурсного потенциала суши человечество все большее внимание обращает на Мировой океан и его огромные энергетические, минеральные и биологические ресурсы [2]. За эти ресурсы, большинство из которых сосредоточено за пределами национальных юрисдикций и доступ к которым регулируется межгосударственными правовыми отношениями, уже разворачивается острая конкуренция между претендующими на эти ресурсы мировыми державами.

Учитывая огромные просторы и глубины Мирового океана, его жизненное пространство почти в 300 раз превышает жизненное пространство наземных экосистем. Однако мы еще крайне мало знаем о продукционном и ресурсном потенциале океана, пределах устойчивости его экосистем в условиях происходящих климатических изменений и антропогенных воздействий, возможности восстановления морских биоресурсов при их масштабной добыче.

Согласно отчету ФАО о состоянии мирового рыболовства и аквакультуры [3], за последние три десятилетия вылов (добыча) водных биоресурсов стабилизировался на уровне 90-95 млн тонн в год, что все чаще воспринимается как максимально возможный уровень изъятия биологической продукции из природных экосистем.

В связи с этим, возможности увеличения объемов водных биоресурсов связываются с развитием морской и пресноводной аквакультуры, демонстрирующей в последние десятилетия стремительный рост благодаря внедрению новых, в том числе генетических, технологий воспроизводства и выращивания водных организмов. Продукция мировой аквакультуры уже существенно превышает объемы добычи биоресурсов из природных экосистем [3]. Однако в последние годы обозначилось снижение скорости роста и этой отрасли морского сельскохозяйственного производства. Сокращение темпов экстенсивного развития морской аквакультуры (марикультуры) связано с ограниченностью прибрежных акваторий, которые также используются для прибрежного рыболовства, судоходства и многих других экосистемных услуг, обеспечиваемых прибрежными экосистемами, а также с ограниченностью и доступностью качественных кормовых ресурсов для выращивания культивируемых гидробионтов. В 2020 г. почти 86% всей рыбной муки из морских гидробионтов пошло на корм гидробионтов, выращиваемых в марикультуре (!) [3].

Безусловно, развитие марикультуры, в том числе и с целью снижения промышленного пресса на природные популяции, очень важно, но вряд ли она способна покрыть все потребности человечества в высококачественной продукции морского происхождения. Кроме этого, стоит отметить, что современное развитие марикультуры все-таки обусловлено не подрывом или ограниченностью ресурсного потенциала Мирового океана, а чисто экономическим преимуществом товарного выращивания гидробионтов в достаточной близости к основным потребителям, что и демонстрирует Китай, население которого в основном сосредоточено вдоль тихоокеанского побережья страны.

В последние годы, благодаря развитию робототехнических средств изучения морских глубин, наши представления о реальных ресурсах Мирового океана значительно пересматриваются, определяя возможности существенного увеличения добычи водных биоресурсов из природных экосистем и получения уникального биологического материала для функционального питания и биомедицины [4, 5].

Российская академия наук вносит значительный вклад в исследования биоресурсов Мирового океана и поиск новых источников высококачественной белковой продукции и новых биологически активных соединений из морских гидробионтов [6].

В 2018 г. на площадке Восточного экономического форума между РАН и Росрыболовством было подписано соглашение о сотрудничестве, предполагающее совместный поиск и исследования новых биологических ресурсов в глубинах Мирового океана в интересах российской экономики. Ежегодно утверждаемые программы совместных исследований предусматривают изучение новых потенциально промысловых глубоководных гидробионтов; поиск новых перспективных районов промысла; разработку принципов и технологий рационального («неистощительного») использования биоресурсов и сохранения продукционного потенциала природных экосистем; инвентаризацию генетических ресурсов Мирового океана; получение новых продуктов из морского сырья; развитие морской фармакологии; обеспечение токсикологической безопасности продукции морского происхождения.

В 2020-2022 гг. консорциумом таких научных организаций во главе с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН проведены две масштабные экспедиции в Антарктику, которые выполнялись параллельно с экспедициями Росрыболовства с целью изучения особенностей распространения и запасов антарктического криля [7]. Новые данные о состоянии этого ценнейшего биоресурса позволили научно обосновать возможность существенного увеличения квот для Российской Федерации и значительно укрепили позиции России на площадке АНТКОМ (Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики), регулирующей доступ к антарктическим биоресурсам. По современным оценкам запасы криля в водах Южного океана могут достигать 300-500 млн. тонн при современной добыче лишь около 500 тыс. тонн.

Другим существенно недоиспользуемым и еще недостаточно изученным биоресурсом являются мезопелагические рыбы, биомасса которых в Мировом океане за счет применения современных технических средств кратно пересмотрена за последнее десятилетие (до 15 млрд тонн) [8]. Промысловое изъятие лишь 1% этих рыб может более чем удвоить объем ежегодной добычи рыбопродукции в Мировом океане. Безусловно, для этого необходимы новые технические средства и

технологии добычи и эффективной переработки этого ценного биоресурса. Кроме этого, необходимо принимать во внимание, что масштабное вовлечение в промысел гидробионтов с более низких, чем при традиционном промысле, трофических уровней (например, криль и мезопелагические рыбы), требует дополнительного изучения особенностей функционирования и устойчивости зависящих от них крупных региональных экосистем.

Серия экспедиций консорциума научных организаций во главе с Национальным научным центром морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН) в северо-западной части Тихого океана и на акваториях наших дальневосточных морей показала неожиданно высокий продукционный потенциал глубоководных экосистем, что может рассматриваться в качестве нового потенциального источника высококачественных биологических ресурсов для отечественного рыбохозяйственного комплекса [5]. Глубоководные гидробионты имеют особую ценность как источники совершенно новых биологически-активных природных соединений, перспективных для создания новых компонентов функционального питания, а также новых противораковых и антибактериальных препаратов [9, 10]. Уникальный биологический материал этих экспедиций, собранный при помощи современных робототехнических средств, размещён в центре коллективного пользования «Морской биобанк» при ННЦМБ ДВО РАН.

Важнейшим направлением в биоресурсных исследованиях Мирового океана занимает обеспечение экологической безопасности наших высокопродуктивных акваторий и токсикологической безопасности продукции морского происхождения [11]. Актуальность этих исследований определяется значительным увеличением частоты и масштабов таких природных явлений как ВЦВ (вредоносное цветение водорослей, или т.н. «красные приливы»), что связано как с климатическими изменениями, так и с различными видами антропогенных воздействий на морскую среду. Масштабные исследования по этому направлению на акваториях наших дальневосточных морей, обеспечивающих более 80% всей российской продукции морского происхождения, также осуществляет консорциум научных организаций, функционирующих под научно-методическим руководством РАН, во взаимодействии и в интересах Росрыболовства и ряда других государственных органов Российской Федерации.

В 2023 г. по итогам встречи президента РАН и главы Росрыболовства соглашение о сотрудничестве, предусматривающее совместную реализацию биоресурсных исследований Мирового океана, продлено на очередные 5 лет.

Существенный вклад в изучение высокопродуктивных глубоководных экосистем северо-западной части Тихого океана внес крупный комплексный научный проект РАН «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах северо-западной части Тихого океана» (2020-2022 гг, № 3.1902.21.0012), направленный на поиск научно-обоснованных компромиссов между задачами сохранения уникальных глубоководных экосистем, развитием глубоководного промысла ценных биоресурсов и потенциальной добычей ценнейшего минерального сырья, сосредоточенного в этом районе Мирового океана [4]. Проект выполнялся силами консорциума научных организаций, функционирующих под научно-методическим руководством РАН. В ходе работ по данному проекту проведено комплексное исследование ряда уникальных

глубоководных экосистем в местах залегания ценных минеральных ресурсов на морском дне и в районах активного рыболовства; предложены мероприятия по сохранению этих экосистем путём ограничения применений технических средств, травмирующих донные ландшафты, использования новых технологий природопользования, а также придания некоторым из них природоохранного статуса.

Работы по поиску и изучению новых перспективных для отечественной экономики ресурсов Мирового океана продолжаются.

Литература:

1. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2023. The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
2. Адрианов А.В. Будущее человечества зависит от океана // В мире науки, 2022, № 5-6. С. 61-71.
3. FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
4. Адрианов А.В., Мордухович В.В. Биоразнообразие и биоресурсы глубоководных экосистем северо-западной части Тихого океана // Вестник РАН. Т. 93(9). С. 833-844. <https://doi.org/10.31857/S0869587323090025>
5. Мордухович В.В., Адрианов А.В. Исследование биоразнообразия глубоководных экосистем в северо-западной части Тихого океана // Труды ВНИРО. Т. 193. С. 9-31. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-193-9-31>
6. Проблемы и перспективы освоения биоресурсов Мирового океана в интересах российской экономики // Аналитический вестник. № 25(739). Аналитическое управление Аппарата Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации. М., 2019.
7. Морозов Е.Г. Краткие итоги антарктической экспедиции 2021–2022 гг. 87-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” // Океанологические исследования. 2022. Т. 50. № 1. С. 126–128.
8. Irigoien X., Klevjer T.A., Rostad A. et al. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean // Nature Communications. 2014. V. 5. Art. 3271. <https://doi.org/10.1038/ncomms4271>
9. Svetashev V.I. Investigation of Deep-Sea Ecosystems Using Marker Fatty Acids: Sources of Essential Polyunsaturated Fatty Acids in Abyssal Megafauna // Marine Drugs. 2022. V. 20. Art. 17. <https://doi.org/10.3390/md20010017>
10. Khotimchenko Y.S., Silachev D.N., Katanaev V. Marine natural products from the Russian Pacific as sources of drugs for neurodegenerative diseases // Marine Drugs. 2022. V. 20 (11). Art. 708. <https://doi.org/10.3390/md20110708>
11. Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya E.V., Efimova K.V., Selina M.S., Morozova T.V., Stonik I.V., Kachur V.A., Karpenko A.A., Vinnikov K.A., Adrianov A.V., Iwataki M. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // Harmful Algae. 2022. Vol. 120. P. 102337. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>

АКАДЕМИК РАН С.Н. КОЧЕТКОВ

«РЕЗИСТЕНТНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ К ЛЕКАРСТВЕННЫМ ПРЕПАРАТАМ: МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ»

Антимикробные препараты (АМП) играют важную роль в здравоохранении, животноводстве и агрономии. В течение многих десятилетий они были эффективны при лечении или предотвращении широкого спектра инфекционных заболеваний.

Представляется необходимым дать определение АМП и показать различие между АМП и антибиотиками, поскольку зачастую эти понятия понимаются как синонимы. АМП – синтетические или природные химические соединения, способные разрушать различные виды микроорганизмов (бактерий, вирусов, грибов, паразитов, протистов), в то время как антибиотики эффективны только в отношении бактерий. Таким образом АМП – более широкое понятие – не все они являются антибиотиками, но все антибиотики являются АМП.

Резистентность к антимикробным препаратам (АМР) представляет собой одну из серьезнейших глобальных проблем здравоохранения и вносит значительный вклад в заболеваемость и смертность во всем мире. По данным ВОЗ, в 2019 г. бактериальная АМР была связана с 4,95 млн смертей по всему миру, причем в 1,27 млн случаев АМР являлась непосредственной причиной смерти. Эти цифры значительно превышают число смертей от таких основных причин смертности как ВИЧ/СПИДа и малярия, которые, по оценкам, в том году унесли жизни 860 000 и 640 000 человек соответственно. Предполагается, что к 2050 году резистентные микроорганизмы будут уносить 10 миллионов жизней в год – больше, чем онкологические заболевания.

Как известно, действие антибиотиков (антибактериальных препаратов, АБП) направлено прежде всего на структуры и процессы в бактериальной клетке-мишени (патогене), имеющие существенные различия с соответствующими эукариотическими аналогами. Подавляющая часть АБП направлена на ограниченное число мишеней, среди которых синтез клеточной стенки, биосинтез белка, интактность мембраны и некоторые ферменты, в частности ферменты метаболизма ДНК/РНК, фолиевой кислоты, а также АТР-синтазы (антибиотик нового поколения бедаквилин).

АМР и, в частности, резистентность к антибиотикам (АБР) продолжают развиваться и распространяться по всему миру. В настоящее время существуют устойчивые штаммы ко всем классам антибиотиков, в результате чего многие инфекционные заболевания стали более тяжелыми или даже не поддающимися лечению, что приводит к росту заболеваемости и смертности. В то же время разработка новых антибиотиков падает: только 5 из 20 фармацевтических фирм, участвовавших в исследованиях антибиотиков в 1980-х годах, все еще действуют сегодня, а большинство крупных фармацевтических компаний сейчас от-

казались от области антибиотиков. Согласно базе данных за 2018 год, только 2 из 45 новых кандидатов на антибиотики, прошедшие клинические испытания для рынка США, принадлежали крупным фармацевтическим фирмам, причем большинство из них проводится исследовательскими лабораториями и малыми и средними компаниями. Последний раз новый класс антибиотиков был открыт и выведен на рынок в 1987 году, а последняя группа препаратов широкого спектра действия (фторхинолонов) была открыта также в 1980-х годах. С тех пор в этой области наблюдается недостаток исследований, и в настоящее время в разработке находится лишь несколько новых групп антибиотиков, способных бороться с нынешними уровнями АМР.

Таким образом, появление новых АМР-штаммов является одной из основных проблем в текущем столетии и существует острая потребность в разработке новых лекарств, которые могут действовать на новые мишени патогенов и активны против устойчивых штаммов бактерий, грибов и вирусов.

Перспективными кандидатами на роль новых антибактериальных агентов являются производные нуклеозидов. Нуклеотиды и нуклеозиды, являясь основными структурными единицами ДНК и РНК, участвуют в биосинтезе белков, выступают как кофакторы многих биохимических циклов, регулируют активности ферментов метаболизма нуклеотидов. В связи с этим даже небольшие модификации нуклеинового основания или сахарного фрагмента нуклеозида могут оказывать существенное влияние на узнавание и ингибирование соответствующих ферментов, и, таким образом, на его активность как антипатогена. В настоящий момент аналоги и производные компонентов нуклеиновых кислот являются важными элементами противораковой, противовирусной и, в значительно меньшей степени, противогрибковой терапии. В то же время, среди представителей природных нуклеозидов и их синтетических аналогов антибактериальная активность обнаружена относительно недавно, и эта область активно развивается.

В последние годы в нашей лаборатории получено значительное количество производных нуклеозидов и проведен скрининг их биологической активности. Показано наличие антибактериальной активности у некоторых грамположительных бактерий, таких как *Bacillus subtilis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Staphylococcus aureus* и ряда микобактерий. Показано также ингибирование роста простейших паразитов *Trypanosoma brucei* и *Leishmania mexicana*, а также ряда непатогенных грибов. Роста грамотрицательных бактерий не наблюдалось.

Наиболее значимые результаты были получены с *Mycobacterium tuberculosis*. Ряд соединений ингибировал рост Mtb в концентрациях, сравнимых с используемыми в настоящее время терапевтическими препаратами, причем эти концентрации были одинаковы как для лабораторного («дикого») штамма H37Rv, так и множественно-устойчивого штамма MS-115, соединения не обладали токсичностью в отношении эукариотических клеток.

С целью изучения механизма действия полученных нуклеозидных производных было проведено электронно-микроскопическое исследование их взаимодействия с микобактериями. Соединения, эффективно ингибируя Mtb штамм H37Rv, вызывали ряд морфологических изменений в клетках, которые заканчивались частичным и/или полным разрушением трехслойной клеточной стенки

бактерий. Следует отметить, что действие широко известного противотуберкулезного препарата изониазид также вызывает разрушение клеточной стенки микобактерий путем ингибирования синтеза миколовых кислот. Однако морфология клеток H37Rv, обработанных изониазидом, значительно отличается от клеток, обработанных модифицированными нуклеозидами, что предполагает различные механизмы их действия.

Таким образом, использование производных и аналогов нуклеозидов в качестве ингибиторов микобактерий представляет значительный интерес для микробиологии, биохимии, медицинской химии и фармакологии.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН П.М. ЧУМАКОВ «ОНКОЛИТИЧЕСКИЕ ВИРУСЫ»

Блестящие успехи медицины XX века успешно поставили под контроль инфекционные заболевания, что привело к практическому удвоению продолжительности жизни. Это произошло благодаря разработке средств, направленных непосредственно против возбудителей заболеваний, вызываемых бактериями (антибиотики), и на механизмы защиты организма от вирусов (вакцины). В результате доминирующими причинами смертей стали заболевания относительно позднего возраста – сердечно-сосудистые патологии и рак. Особенно драматично воспринимается постановка онкологического диагноза, который обнаруживается внезапно, и в большинстве случаев оказывается на стадии распространения в виде метастазов, оставляя мало шансов на возможность выздоровления. На этой стадии уже требуется системная терапия, специфически направленная против опухолевых клеток.

Для разработки средств системной противоопухолевой терапии требовалось выяснение фундаментальных физиологических различий нормальных и раковых клеток, а также специфических мишеней, пригодных для фармацевтического воздействия. Эта задача явилась мощным стимулом для развития множества направлений современной биомедицинской науки, направленных на изучение молекулярных основ генетических процессов, механизмов клеточных делений, их дифференцировки, межклеточных взаимодействий, удаления и утилизации отживших клеток, защиты интегральной стабильности генома клеток организма, адаптации к стрессам и физиологическим нагрузкам, иммунного надзора за качеством клеток, наследственных предрасположенностей к онкологическим заболеваниям. Было выявлено множество характерных для опухолевых клеток свойств и признаков, которые, как правило, не носили универсальный характер, но были характерны для отдельных типов рака, или даже их отдельных вариантов.

Разработанные против выявленных мишеней химиотерапевтические и таргетные препараты показали избирательность в уничтожении раковых клеток, были способны вызывать ремиссии разной продолжительности. Однако они редко приводили к полному излечению пациентов. Высокая изменчивость раковых клеток приводила к появлению устойчивых форм, приводящих к рецидиву заболевания. Кроме этого, токсическое воздействие препаратов ослабляло природные иммунные механизмы уничтожения раковых клеток, что еще больше ускоряло развитие болезни. Бесперспективность современной системной терапии рака связано с тем, что она направлена не на причину болезни, а лишь на отдельные частные ее проявления.

Исследования последних лет позволяют сформулировать основную причину развития рака. Она связана не столько с возникновением мутантных клеток, обладающих способностью к автономному размножению, сколько с потерей иммунной системой организма способности своевременно выявлять и уничтожать такие клетки. Появление в организме потенциально опасных генетически измененных клеток происходит очень часто, однако в здоровом организме они эффективно удаляются за счет многоуровневых механизмов контроля над качеством клеток.

Существует три основных уровня контроля, позволяющие вовремя выбраковать патологически клетки. Внутриклеточный уровень обеспечивается опухолевым супрессором p53, который активируется в клетках при большинстве нештатных ситуаций и либо индуцирует программируемую клеточную смерть, либо необратимо останавливает деления такой клетки. Следующий уровень контролируется врожденной иммунной системой, в частности, НК-клетками, которые в режиме реального времени сканируют все клетки и в случае выявления характерных изменений (например, пониженный уровень молекул МНС 1 класса) уничтожают патологическую клетку впрыскиванием токсических молекул. Наконец, третий уровень осуществляется адаптивной иммунной системой. Мутантные клетки зачастую экспрессируют измененные белки, которые индуцируют иммунный ответ. Такие неоантигены узнаются антигенпрезентирующими клетками (дендритными клетками, макрофагами и моноцитами) и индуцируют появление цитотоксических Т-лимфоцитов, осуществляющих удаление мутантных и опухолевых клеток.

Ослабление иммунных механизмов, наследственные и приобретенные генетические дефекты могут обуславливать сбои выбраковки патологических клеток, приводящие к появлению скоплений раковых клеток с образованием микроопухолей. Отсутствие в таких клетках активности p53-зависимых суицидальных программ приводят к потере стабильности генома, быстрому накоплению мутаций и ускоренной адаптации раковых клеток к автономному существованию. За счет секреции ряда цитокинов и хемокинов раковые клетки стимулируют прорастание в опухоль кровеносных сосудов, обеспечивающих питание, и фибробластов, образующих опухолевую строму. Секреция опухолевыми клетками цитокина приводит к изменению свойств фибробластов стромы, ускоряющих опухолевую прогрессию, и к системному изменению дифференцировки клеток миелоидного ряда, превращая их из иммуноактивных в иммуносупрессивные и стимулируя их миграцию в опухоль. Иммуносупрессивные миелоидные клетки начинают снабжать раковые клетки рядом метаболитов, ускоряющих опухолевый процесс. На поверхности самих раковых клеток начинают экспрессироваться белки-рецепторы иммунных контрольных точек, которые обладают иммуносупрессивным действием. При взаимодействии цитотоксических Т-клеток с такими рецепторами, например с белком PD-L1, их цитотоксическая активность утрачивается, и неактивные Т-клетки накапливаются в опухоли без негативных последствий для раковых клеток. Установившееся иммуносупрессивное микроокружение способствует безудержному росту и прогрессии опухоли.

Ключом к решению проблемы рака могут быть средства, направленные на снятие иммуносупрессивного состояния внутри опухоли.

Наиболее комплексное воздействие на иммунный статус опухоли способны оказывать онколитические вирусы. Их действие направлено непосредственно на причину формирования и развития опухоли.

Случаи возникновения ремиссий онкологических заболеваний после перенесенных вирусных инфекций описывались уже более века назад. Также было замечено, что в раковых клетках вирусы размножаются наиболее интенсивно. Установлено, что при опухолевой прогрессии клетки избавляются от функций, которые тормозят их способность к экспансии. Поэтому в раковых клетках, как

правило, отсутствует способность к секреции интерферонов, а также утрачивается способность к выработке невосприимчивости к вирусам при обработке интерферонами. При попадании в опухоль вирусы беспрепятственно заражают раковые клетки и способствуют ее деградации. Однако исследования последних лет показали, что это только часть механизма противоопухолевого действия вирусов. Ведь вирусы быстро удаляются из организма за счет действия иммунной системы, но запущенный ими противоопухолевый эффект может продолжаться в течение нескольких месяцев.

Какие же процессы запускает вирус, попадая в опухоль? Прежде всего, вирус начинает активно реплицироваться в раковых клетках и вызывать их гибель. Выходя из клеток новообразованные вирионы заражают не только другие раковые клетки, но и клетки опухолевой стромы. В ответ на взаимодействие с вирусом клетки стромы начинают секретировать интерферон бета, который является мощным индуктором каскадных иммунных процессов, приводящих к конверсии опухолевого микроокружения из иммуносупрессивного в иммуноактивное состояние. Интерферон и сопутствующие хемокины привлекают в опухоль активные макрофаги, дендритные и NK-клетки и цитотоксические Т-лимфоциты. Последние секретируют интерферон-гамма, интерлейкины 2, 12, 15 и 18, приводящие к активации иммунных процессов в опухоли и восстановлению способности иммунной системы массированно атаковать клетки опухоли. Это состояние может поддерживаться достаточно долго, приводя к последовательному уничтожению раковых клеток за счет природных противоопухолевых механизмов.

Онколитическими свойствами могут обладать вирусы многих семейств. Главным требованием к таким вирусам является отсутствие их патогенности. Поэтому это могут быть апатогенные для человека вирусные штаммы, некоторые вирусы животных, сохраняющие способность инфицировать клетки человека, или генетически измененные вирусы с искусственно ослабленной патогенностью. Существует множество разработок рекомбинантных онколитических вирусов нескольких семейств, в которые дополнительно вводятся гены, способствующие онколитическому действию. Например, рекомбинантный вирус может экспрессировать цитокины (GM-CSF, IL12, и др.) и хемокины, оказывающее иммуностимулирующее действие. После многолетних клинических испытаний сейчас одобрено к применению в клинике четыре штамма онколитических вирусов, два рекомбинантных штамма на основе вируса простого герпеса (Imlygic и Delytac), рекомбинантный аденовирус H101 и природный апатогенный энтеровирус Rigvir. Их применяют в качестве монотерапии, либо в комбинации с химиопрепаратами и иммунотерапией. На подходе штаммы на основе полиовируса (PVSRIPO), реовируса (Reolysin), осповакцины (Pexавес), вирусов Мараба и болезни Ньюкастла (NDV).

Накопленный опыт по терапии рака с помощью вирусов выявил высокую степень безопасности и практическое отсутствие серьезных побочных эффектов, столь часто наблюдаемых при использовании химио- и таргетной терапии. В ряде случаев такая терапия приводила к стойким ремиссиям и полному излечению ранее абсолютно смертельных форм рака, например глиобластомы. Это, в частности, связано со способностью вирусов уничтожать раковые стволовые клетки, которые особенно устойчивы к другим терапевтическим воздействиям, и являются источником последующих рецидивов.

Наряду с очевидной перспективностью вирусная терапия рака требует доработки. Основной проблемой является непредсказуемость терапевтического действия онколитических вирусов. Как правило, на вирусный препарат терапевтический ответ наблюдается лишь в 10-30% случаев. Это обусловлено генетическими различиями опухолей пациентов и предполагает персонализированный подход при выборе вирусного препарата. Для выяснения возможности создания вирусных препаратов, подходящих для большей части пациентов, мы решили использовать в качестве онколитических непатогенные энтеровирусы человека. Это вирусное семейство представлено множеством штаммов, различающихся по используемым рецепторам проникновения в клетки. Мы сформировали большую панель энтеровирусов и определили для каждого штамма частоты, с которыми они способны реплицироваться в клетках рака молочной железы, яичника, толстого кишечника, мезотелиомы и глиобластомы. Было установлено, что если один вирусный штамм не способен размножиться в части исследованных культур клеток, то другой в этих клетках может успешно реплицироваться и вызывать их гибель. Мы создали субпанели вирусных штаммов для различных форм рака, из которых возможен персонализированный подбор для терапии больных. Кроме этого, мы сформировали коктейли, содержащие по четыре различных штамма, и показали, что они охватывают существенно большую часть больных. Несколько отдельных штаммов и коктейль на их основе (препарат Энтеромикс) прошли доклинические исследования в Онкологическом институте им. Герцена и готовятся к клиническим испытаниям на больных глиобластомой.

Помимо онколитических природных энтеровирусов мы создали панель рекомбинантных вирусов осповакцины, экспрессирующих ряд иммуномодулирующих цитокинов и хемокинов, а также наноантител, блокирующих рецептор контрольной иммунной точки PD1. Эти вирусные штаммы предназначены для использования в комбинации с непатогенными энтеровирусами для повышения эффективности вирусной терапии. Целесообразность комбинированного применения вирусных штаммов подтверждена в доклинических моделях клеточных культур и на животных опухолевых моделях.

Для повышения эффективности системной доставки онколитических вирусов в опухоль мы исследуем возможности внутривенного, внутриартериального, интра-текального и лимфатического введения, а также использование клеточных носителей представленных иммунными клетками пациентов, инфицированными *ex vivo*.

Использование онколитических вирусов является единственным подходом к терапии рака, направленным на причину заболевания. Его дальнейшее совершенствование позволит создать безопасный и эффективный способ лечения диссеминированных форм рака.

ДОКТОР БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК А.С. ЯНЕНКО

«ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Микробиологическая промышленность как часть промышленной биотехнологии является одной из самых динамично развивающихся в мире высокотехнологичных отраслей, связанной с получением продуктов для сельского хозяйства, химикатов, новых материалов и энергии из растительного возобновляемого сырья с помощью специализированных штаммов микроорганизмов. В последние годы в Российской Федерации сложились предпосылки для быстрого развития микробиологической промышленности. Успехи сельского хозяйства привели к возникновению в стране избытка зерна, которое может служить источником дешевых сахаров для биотехнологических процессов. Развитие микробиологической промышленности на основе продуктов глубокой переработки зерна, в свою очередь, позволит обеспечить сельское хозяйство инновационными продуктами, от которых в значительной мере зависит его эффективность. Таким образом, ускоренное развитие сельского хозяйства и микробиологической промышленности позволят сформировать в стране новый технологический уклад, основанный на природоподобных технологиях, органично интегрированных в природную экосистему и не нарушающих естественный природный ресурсоборот.

Главным элементом любой биотехнологии является штамм-продуцент. Современные высокопродуктивные штаммы являются результатом сложнейших генетических манипуляций, несут десятки различных мутантных аллелей, изменяющих свойства и регуляцию ферментов, участвующих в синтезе целевого продукта, обеспечивающих устойчивость штаммов к стрессовым факторам, меняющим энергетический статус клетки и пр. Природные генетические ресурсы (штаммы микроорганизмов, их ассоциации, метагеномы) служат источником большого разнообразия генетических аллелей, контролирующих синтез промышленно-значимых продуктов, и широко используются для создания штаммов-продуцентов. Однако решающий вклад в конструирование штаммов вносят методы индуцированной изменчивости (мутагенез, геновая инженерия, методы редактирования), а в последние годы – методы синтетической биологии (синтез генов *de novo*). При этом именно методы геномного редактирования (системы бактериофаг-специфической рекомбинации, гомологичной рекомбинации и CRISP-Cas-подобные системы) отвечают современным требованиям по биобезопасности, а главное, являются наиболее мощным инструментом создания промышленных штаммов-продуцентов, обеспечивающих экономически-обоснованное производство продуктов с высоким рыночным потенциалом.

В последние годы в НИЦ «Курчатовский институт» получены результаты мирового уровня в области изучения микробных ресурсов, которые сформировали базу для ускоренного развития промышленных биотехнологий, в том числе:

- Осуществлен комплекс работ по секвенированию и анализу свыше 3000 геномов микроорганизмов промышленного назначения. В результате, в НИЦ «Курчатовский институт» создана крупнейшая в Российской Федерации коллекция промышленных микроорганизмов с секвенированными геномами, представляющая собой уникальный источник новых генов, их аллелей, новых метаболических путей для развития промышленных биотехнологий.

- Разработаны системы редактирования для важнейших групп промышленных микроорганизмов, включая коринебактерии, родококки, бациллы, дрожжи и энтеробактерии, которые позволили проводить направленную реконструкцию геномов с высокой скоростью и обеспечить современный уровень безопасности создаваемых штаммов.

Для бактерий *Escherichia coli* усовершенствована система геномного редактирования на основе гомологичной рекомбинации фага λ , которая обеспечивает безмаркерную интеграцию в геном больших (свыше 10 kb) фрагментов ДНК, кодирующих полный путь биосинтеза важнейших клеточных метаболитов (аминокислот). Показано, что разработанная система может служить универсальным инструментом синтетической биологии и метаболической инженерии для таких бактерий, как *Citrobacter*, *Salmonella* и *Pantoea*, что открывает широкие перспективы для конструирования новых штаммов-продуцентов.

Для дрожжей *Yarrowia lipolytica* разработан набор генетических инструментов для направленной модификации генома, что позволило использовать этот вид дрожжей в качестве новой платформы для синтеза органических кислот (стартовый материал для биodeградируемых пластиков) и каротиноидов (органических пигментов с высокой антиоксидантной активностью).

Результаты полногеномного секвенирования и разработанные системы редактирования были использованы для создания нового поколения штаммов-продуцентов клеточных метаболитов, востребованных в сельском хозяйстве (аминокислоты, каротиноиды, витамины) и в химической индустрии (биохимикаты из возобновляемого сырья для синтеза биodeградируемых пластиков).

На основе бактерий *E.coli* и *Corynebacterium glutamicum* созданы штаммы-продуценты незаменимых аминокислот треонина и валина – важнейших кормовых добавок для животноводства. Для достижения мирового уровня продуктивности штаммов важную роль сыграло открытие новых генов транспорта треонина и других аминокислот в клетках *E.coli*, а также обнаружение уникального механизма регуляции активности генов в клетках *C. glutamicum*, основанного на формировании альтернативных структур РНК в регуляторной области оперона *ilvBNC*, контролирующего биосинтез валина и других разветвленных аминокислот.

На основе дрожжей *Yarrowia lipolytica* разработана новая платформа для синтеза каротиноидов – органических пигментов с высокой антиоксидантной активностью. С помощью геномного редактирования на основе генетического материала дрожжей *Y. Lipolytica*, гриба *Mucor circinelloides*, цианобактерий *Synechococcus* и пресноводных водорослей *Naematococcus pluvialis* (всего 14 генов) сформирован

путь биосинтеза каротиноидов и впервые созданы штаммы-продуценты каротиноидов с высоким рыночным потенциалом (бета-каротин, астаксантина). Данная технология позволит обеспечить эффективными кормовыми добавками рыбоводство (в первую очередь, лососевых; астаксантин представляет собой антиоксидант и придает товарный вид рыбной продукции) и животноводство (бета-каротин, являясь про-витамином А, дает повышение выживаемости и увеличение привесов в условиях интенсивного животноводства).

Разработана универсальная платформа на основе метилотрофных дрожжей для получения ферментов, применяемых в кормопроизводстве и для переработки растительного сырья (фитаза, ксиланаза, бета-глюканаза, альфа-амилаза и др.).

Впервые в мировой практике на основе термотолерантных метилотрофных дрожжей *Ogataea haglerorum* создан высокопродуктивный штамм-продуцент *beta*-маннаназы, важнейшего фермента для кормопроизводства.

На основе дрожжей *Komagataella phaffii* создан штамм-продуцент химозина – аналога сычужного фермента, применяемого в сыроделии. Достоинством этого штамма является секреция в среду активного химозина, а не зимогена, что позволяет упростить технологию получения целевого продукта. Проверка фермента на производстве в г. Углич позволит оценить перспективы использования рекомбинантного химозина альпака, наработанного клетками дрожжей *K. phaffii*.

Использование биокаталитических систем для получения химических веществ, традиционно получаемых органическим синтезом, является еще одним важным приоритетом работы Курчатовского геномного центра.

Впервые созданы штаммы-продуценты и разработана технология синтеза L- и D-изомеров молочной кислоты на основе ацидофильных дрожжей *Schizosaccharomyces pombe*. Молочная кислота является платформой для химического синтеза многих промышленно значимых соединений, среди которых наибольший интерес вызывают биodeградируемые пластики – полилактоиды. Для получения доступа к изомерам молочной кислоты на основе ацидофильных дрожжей сконструированы штаммы *S. pombe* – продуценты, способные синтезировать молочную кислоту при низких значениях pH (около 4) без промежуточного образования солей.

Используя методы метаболической инженерии, впервые созданы штаммы *Yarrowia lipolytica*-продуценты лимонной кислоты. В *Y. lipolytica* были обнаружены митохондриальные транспортные системы, ответственные за перенос сукцината, фумарата, цитрата и изоцитрата через митохондриальную мембрану. Эти результаты открыли новый подход к созданию продуцентов органических кислот на основе дрожжей путем модификации транспортных систем. Технологии синтеза лимонной кислоты на основе дрожжей *Y. lipolytica* являются реальной альтернативой традиционным грибным технологиям.

Акриловые мономеры представляют еще одну группу широко востребованных химикатов для синтеза полимеров, применяемых в качестве флокулянтов и реагентов буровых растворов и пр. Биокаталитический синтез акриловых мономеров представляет собой редкий пример успешного применения биотехнологий в органическом синтезе. На основе бактерий *Rhodococcus rhodochrous* с использованием генетических элементов кобальт-зависимой экспрессии генов

созданы штаммы-биокатализаторы синтеза N-замещенных акриламидов – широко востребованных акриловых мономеров с высоким рыночным потенциалом. В оптимальных условиях генетические элементы кобальт-зависимой регуляции обеспечивают высокий уровень синтеза целевого белка (ациламидаза, НГ), достигающий 50% от всех растворимых белков клетки. Важнейшими преимуществами созданных штаммов являются высокая каталитическая (ацилтрансферазная) активность и простые условия их наработки без дорогостоящих компонентов питательной среды.

Таким образом, технологии микробного синтеза, разрабатываемые в НИЦ «Курчатовский институт», обладают значительным потенциалом для промышленного использования, и их коммерциализация позволит стране не только освободиться от импорта жизненно важных продуктов, но и стать одним из ведущих производителей биотехнологической продукции на мировом рынке.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Н.В. ЛУКИНА
«НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ПУЛОВ УГЛЕРОДА И ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ
ГАЗОВ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
РОССИИ»

Человечество влияет на концентрацию парниковых газов в атмосфере как в результате сжигания ископаемого топлива и других промышленных процессов, что явно выражено в последнее столетие, так и в процессе трансформации биогеоценоотического покрова на протяжении истории его развития. Биогеоценоотический покров регулирует накопление как углеродсодержащих, так и других парниковых газов в атмосфере. Человек всегда оказывал мощное воздействие на лесной биогеоценоотический покров. По оценкам ФАО, в настоящее время уничтожается не менее 10 млн га лесного покрова в год. Степные естественные экосистемы России преобразованы в наиболее значительной степени: на большей части территории степной зоны эти экосистемы представлены сельскохозяйственными экосистемами (пашни, залежи, пастбища). Болотные экосистемы подвергались, особенно в прошлом столетии, осушению для развития сельского хозяйства и добычи торфа, происходила и происходит фрагментация тундровых экосистем.

Современные оценки влияния наземных экосистем на цикл углерода, накопление парниковых газов в атмосфере характеризуются высокой неопределенностью из-за недостатка или отсутствия необходимых данных для таких оценок в различных типах экосистем на разных стадиях сукцессионного развития после нарушений:

- не оценивалось поглощение парниковых газов лесными рединами в управляемых лесах;
- не оценивалось поглощение парниковых газов неуправляемыми лесами в составе лесного фонда: резервные леса и редины;
- не оценивалось поглощение парниковых газов лесами и рединами на неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения;
- недостаточно данных для оценки вклада лесных почв в нетто-поглощение парниковых газов экосистемами (вклад варьирует от 11 до 39 %);
- недостаточно данных для оценки вклада напочвенного покрова (мхи, лишайники, кустарнички, травы) в нетто-поглощение парниковых газов экосистемами, особенно таежными лесами, доминирующими в России;
- недостаточно данных для оценки влияния нарушений на объемы нетто-поглощения парниковых газов (пожары, массовые вспышки размножения насекомых, грибные и бактериальные болезни, сплошные рубки);
- высокий уровень неопределенности для оценок чистого поглощения/выбросов парниковых газов, проведенных по тундрам ($\pm 398\%$), болотам ($\pm 1580\%$) и пресноводным экосистемам ($\pm 152\%$) (Коротков, Романовская, Карелин и др., 2023);

- нет данных о поглощении парниковых газов естественно восстанавливаемыми, ранее деградированными, степями;
- отсутствовала единая сеть мониторинга климатически активных веществ (КАВ).

В 2022 году утвержден важнейший инновационный проект государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», который выполняют шесть консорциумов, работающих по разным направлениям. Консорциум «Углерод в экосистемах: мониторинг», состоящий из 23 организаций, выполняет исследования по ВИП ГЗ в части разработки национальной системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов и создания системы учета данных по потокам парниковых газов и бюджету углерода в наземных экосистемах Российской Федерации. Снижение неопределенности оценки поглощения парниковых газов наземными экосистемами становится возможным благодаря разработке методов интеграции данных наземного мониторинга, дистанционного зондирования и математического моделирования. Консорциум в настоящее время решает две основные задачи.

Задача 1: повышение точности оценки нетто-поглощения парниковых газов лесными и другими наземными экосистемами.

Исследования проводятся по трем магистральным направлениям:

(1) создание сети мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России на основе стандартизированной инфраструктуры мирового уровня;

(2) создание признанных на международном уровне методов интеграции данных наземных измерений, дистанционного зондирования и математического моделирования для оценки пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России;

(3) создание единой информационно-аналитической системы для сбора, хранения, обработки и анализа данных мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России – ИАС «Углерод-Э».

В результате проведенных работ разработан проект сети тестовых полигонов, количество которых к 2030 году должно составить не менее 1317 шт. В 2023 году сеть наблюдений включала 133 полигона: 120 – экстенсивного уровня, 8 полигонов интенсивного уровня в естественных экосистемах, 5 полигонов – в сельскохозяйственных экосистемах, модернизировано 14 полигонов интенсивного уровня (с климатическими вышками). В 2024 году сеть будет расширена до 270 полигонов.

Разработанная методика оценки бюджета углерода лесов на основе интеграции данных ДЗЗ и сети наземных наблюдений позволила установить:

- нетто-поглощение углерода растительностью управляемых лесов (без редины и без почв) выше на 24 % в сравнении с текущими официальными оценками (на 140 млн т CO₂ экв. в год);
- нетто-поглощение парниковых газов растительностью всех лесов страны, включая резервные, редины и неиспользуемые сельскохозяйственные земли, покрытые древесной растительностью, составляет в среднем 1105 млн т CO₂ экв. в год (без учета почв).

3. В 2023 году количество обновленных коэффициентов поглощения парниковых газов для использования в секторе ЗИЗЛХ для Национального кадастра парниковых газов составило 588, к 2024 году будет обновлено не менее 3134 коэффициентов.

4. В 2024 году будет создана информационная система сбора и обработки данных о пулах углерода и потоках парниковых газов в лесных и других наземных экосистемах ИАС «Углерод-Э» (пользователи: научное сообщество, заинтересованные ФОИВы)

5. В 2024 году повысится качество оценки поглощения парниковых газов за счет снижения в Национальном кадастре её неопределенности в лесах: неопределенность снизится с текущих 26 % до 20 % на уровне страны.

Задача 2: Получение уточненных прогнозных оценок нетто-поглощения парниковых газов лесными и другими наземными экосистемами при разных сценариях землепользования и изменений климата на локальном, региональном и национальном пространственных уровнях.

Прогнозные оценки показали, что:

1. Изменения климата во всех сценариях лесопользования приведут к снижению накопления экосистемного углерода: чем интенсивнее меняется климат, тем меньше накапливается углерода. Снижение происходит за счет пулов почв и мертвого органического вещества (валеж, крупные древесные остатки и др.), поскольку растёт скорость разложения и объём эмиссий парниковых газов из почв. Древостой, напротив, растёт быстрее и накапливает углерода больше, по сравнению со стационарным климатом.

2. Рубки древостоев при всех сценариях изменения климата приведут к потере экосистемного углерода: чем больше изымается древесины, тем выше потери.

Максимально разрешенное в настоящее время изъятие древесины (так называемая расчетная лесосека) приводит к обеднению экосистем углеродом, однако пока расчетная лесосека не осваивается полностью. Если при интенсификации лесопользования будет вырубаться до 90 % расчетной лесосеки, произойдет резкое снижение запаса углерода к 2060 году. После этого, поскольку рубки прекратятся из-за истощения запасов древесины, при условии проведения лесовосстановления, к 2100 году запас углерода начинает восстанавливаться.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ОТДЕЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК РАН

АКАДЕМИК РАН А.С. ДОРОХОВ

«ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И РОБОТИЗАЦИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»

В связи со сложной геополитической ситуацией наша страна столкнулась с рядом проблем технико-технологического обеспечения сельскохозяйственного производства, связанных с ограничением поставок современной сельскохозяйственной техники и оборудования, микроэлектроники и систем навигации, ограничением функционирования систем и оборудования для точного земледелия, диагностики сельскохозяйственной техники, комплектующих и запасных частей.

Для обеспечения технологического суверенитета страны принята Концепция технологического развития на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 года № 1315-р. Концепцией определены приоритетные направления научно-технологического развития, включающие такие сквозные технологии как искусственный интеллект, робототехника, фотоника, создание новых технологий управления свойствами биологических объектов и другие. В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 года № 2567-р утверждена Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года, которая нацелена на комплексное решение проблем развития сельского хозяйства, в том числе на технико-технологическое обеспечение сельскохозяйственного производства и импортозамещение машин и оборудования. Одной из ключевых задач стратегии является создание единой цифровой платформы агропромышленного комплекса.

Приведенные и многие другие документы показывают, что принимаемые правительством решения нацелены на создание конкурентоспособного высокопродуктивного сельскохозяйственного производства путем внедрения результатов фундаментальных исследований в сфере цифровых технологий, искусственного интеллекта, робототехники, фотоники, технологий управления свойствами биологических объектов и других.

Одним из серьезнейших вопросов применения искусственного интеллекта является нормативно-правовое регулирование. Учеными ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (далее – Центр ВИМ) разработаны предварительные национальные стандарты Российской Федерации по вопросам применения искусственного интеллекта в растениеводстве, животноводстве и переработке сельскохозяйственной продукции. Стандартами устанавливается область применения искусственного интеллекта и функциональные требования к системам управления.

В сельском хозяйстве под искусственным интеллектом понимаются интеллектуальные системы управления агротехнологиями, принимающие решения на основе сбора и обработки больших данных. В такой системе данные о свойствах растений, животных и окружающей среды собираются в цифровом виде с помощью датчиков, сенсоров, компьютерного зрения. Обработку полученной информации осуществляют с помощью технологий обработки больших данных, цифровых двойников, нейронных сетей и других. Таким образом, формируемая интеллектуальная система управления должна быть способна самостоятельно обрабатывать получаемую информацию и принимать решения о проведении определенных технологических операций. Для реализации принятых решений применяются автоматизированные системы и роботизированные устройства, которые также функционируют в автоматическом режиме. Применяемая робототехника в свою очередь оснащается основанной на искусственном интеллекте встроенной системой управления, способной за счет самообучения принимать решения без заранее заданного алгоритма.

Переход к интеллектуальному сельскохозяйственному производству требует создания принципиально новой системы роботизированных и интеллектуальных машин, которая должна включать роботизированные мобильные энергетические средства, средства мониторинга и диагностики, роботов для непосредственного выполнения технологических операций.

Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта в мобильной сельскохозяйственной технике позволяет перейти к применению беспилотных мобильных энергетических средств. Для создания сельскохозяйственных мобильных роботов разрабатываются интеллектуальные системы беспилотного управления, агрегатирования, мониторинга состояния технических средств, почвы, посевов, окружающей среды и другие системы.

Ученые секции механизации, электрификации и автоматизации отделения сельскохозяйственных наук РАН активно участвуют в проведении исследований по разработке средств мониторинга состояния и исследования растений контактными и бесконтактными способами с использованием лазерных, спектральных, электромагнитных и других технологий, которые наряду с системами компьютерного зрения позволяют собирать информацию в базу данных.

В Центре ВИМ проводятся исследования и разработки по созданию систем мониторинга с применением алгоритмов машинного обучения, реализуемые на базе беспилотных летательных аппаратов и роботизированных наземных мобильных средств. Разрабатываемые в настоящее время интеллектуальные системы способны самостоятельно с помощью нейронных сетей обрабатывать весь мас-

сив данных и принимать решения о проведении определенных технологических операций. Например, разрабатываемая в Центре ВИМ на основе наземных роботизированных средств система мониторинга садовых насаждений, основанная на нейронных сетях и компьютерном зрении, позволяет с достаточно высокой точностью распознавать плоды, оценивать их спелость и урожайность непосредственно во время движения, что дает возможность существенно повысить производительность средств мониторинга. Применение технологий искусственного интеллекта позволяет создавать методы оптической идентификации микро- и макроповреждений тканей растений, на основании которых создаются технологии сортировки плодов при закладке на хранение, что дает возможность снизить потери продукции в период хранения.

Ученые секции активно занимаются созданием искусственных экосистем с интеллектуальным управлением свойствами растений по их стрессовой реакции на изменение внешних условий. Ведется подбор для каждой выращиваемой культуры своего определенного микроклимата, режима питания, светорецепта и т.д., что дает возможность раскрыть генетический потенциал растений, управлять пополнением витаминов и микроэлементов, получать растительную продукцию с заданными свойствами. Данные технологии позволяют осуществлять адаптацию растений к определенным климатическим условиям, например, создавать субтропики, тропики, арктические и другие условия, реализовывать технологии ускоренной селекции сельскохозяйственных культур.

Применение технологий искусственного интеллекта в животноводстве позволяет связать и обрабатывать огромные информационные массивы, принимать управленческие решения и управлять роботизированными системами. Принятию эффективных решений способствует использование видео-аналитических комплексов с технологиями глубокого машинного обучения, которые могут распознавать отдельные поведенческие черты, экстерьерные особенности животного и отслеживать изменения физиологического состояния. На животноводческих комплексах могут работать системы роботов с мультиагентным управлением на основе обратных связей, способные обмениваться информацией между собой и корректировать свою работу в зависимости от поступающей информации от других систем. Это позволяет в дальнейшем исключить участие человека в выполнении тяжелых и ручных работ на всём цикле производства.

Для прогнозирования и принятия решений по управлению технологическими системами жизнеобеспечения животных применяются системы мониторинга на основе сенсоров мониторинга состояния, датчиков микроклимата и метеостанций, позволяющих оценить влияние внешних и внутренних факторов. Центром ВИМ разработан погружаемый внутрь рубца животного датчик «Болюс», измеряющий кислотность, температуру, двигательную активность, сердцебиение и другие параметры, что позволяет осуществлять внутренний мониторинг состояния животного в онлайн режиме и накапливать большие данные об изменении его состояния. С целью решения проблем комплексной оценки параметров генетического потенциала сельскохозяйственных животных проводятся исследования по диагностике и контролю физиологического состояния крупного рогатого скота

с помощью лидаров, позволяющие разработать технологию и оборудование для бесконтактной лазерной диагностики отклонений в физиологическом состоянии животных и их бонитировке по компьютерным моделям, обеспечивающие повышение производительности и точности измерений.

В последнее время все больше внимания уделяется экологическим вопросам, в частности вопросам переработки отходов сельскохозяйственного производства и получения органической продукции. С целью контроля объема и определения характеристик формируемых органических удобрений и осуществления их перераспределения разрабатывается интеллектуальная система мониторинга, оценки и управления побочной продукцией животноводства и птицеводства. Применение искусственного интеллекта в вопросах управления отходами производства позволяет реализовать сбор и анализ статистической информации об источниках отходов, прогнозировать экологические риски и выработать оптимальные управленческие решения.

В направлении повышения надежности разрабатываемых роботизированных комплексов ведется создание систем мониторинга и управления техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий и нейронных сетей глубокого обучения. Результаты данных исследований позволяют предупреждать отказы техники, накапливать и анализировать данные о состоянии узлов и агрегатов, что особенно важно в условиях ограничения поставок современной сельскохозяйственной техники и оборудования, ограничения функционирования систем и оборудования для точного земледелия, диагностики сельскохозяйственной техники, отсутствия запасных частей,

Развитие описанных направлений исследований и создание производственных технологий сдерживается высоким уровнем импортозависимости в области микроэлектроники, программно-аппаратных средств, автоматизированного электропривода, элементов гидравлических систем и т.д. С целью ликвидации технологических угроз и решения обозначенных проблем в агроинженерной сфере необходимо обеспечить проведение междисциплинарных исследований и разработку отечественных электронных компонентов и программных средств для создания интеллектуальных систем управления, датчиков, сенсоров и средств компьютерного зрения.

АКАДЕМИК РАН Я.П. ЛОБАЧЕВСКИЙ

«ПРИОРИТЕТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

Российская Федерация обладает огромным природным и человеческим потенциалом, позволяющим не только полностью обеспечить качественным продовольствием население страны, но и занять существенный сегмент мирового продовольственного рынка.

Одна из главных ролей в решении этих вопросов отводится сельскохозяйственной науке.

В соответствии с Доктриной Продовольственной безопасности российская наука и производство должны обеспечить российских граждан качественными отечественными продуктами. Решение этой задачи, достижение реального продовольственного суверенитета может быть достигнуто в результате внедрения в производство приоритетных инновационных технологий и технических средств.

Широкий спектр почвенно-климатических условий страны диктует необходимость создания адаптивных технологий, которые создаются в результате комплексных фундаментальных и поисковых научных исследований наших ученых.

В рамках ФНТП развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы реализуются комплексы технологий по трем подпрограммам: селекция и семеноводство картофеля; селекция и семеноводство сахарной свёклы; создание отечественных кроссов птицы. Еще несколько актуальных подпрограмм находятся в высокой степени готовности.

Результаты выполнения исследований учеными отделения в русле отмеченных основополагающих программ создают предпосылки для достижения научно-технологического развития АПК страны. Важно отметить, что индекс физического объема сельхозпродукции в 2022 году достиг 110%, в том числе продукции растениеводства – 116%, животноводства – 103%. Среднегодовой прирост физического объема продукции составил 3,5%. Валовой годовой сбор зерна стабильно достигает высоких значений порядка 130-140 млн тонн. Уровень рентабельности аграрных предприятий значительно повысился, и достиг в 2022 году 25%. Доля прибыльных предприятий значительно увеличилась и достигла 86 %.

Можно констатировать существенное продвижение в решении проблемы импортозамещения и технологической независимости на внутреннем рынке продовольствия. Однако, эта проблема еще полностью не решена, особенно в обеспечении отечественным семенным материалом, породами скота и птицы, средствами защиты растений, ветеринарными препаратами, пищевыми ингредиентами, сельскохозяйственной техникой и оборудованием.

Главной составляющей в технологическом развитии страны и в основе применения инновационных технологий является сохранение и эффективное использование земельных ресурсов, особенно посевных площадей, поскольку с эффектив-

ностью ее использования тесно связаны и показатели производства продукции, и экологическая безопасность.

Площади сельскохозяйственных угодий в нашей стране к настоящему времени составляют 197 млн га, из них пашни 117 млн гектаров. К сожалению, 35-37 млн гектаров выведены из землепользования и практически не используются. В последние десятилетия почвы во всем мире, в том числе в нашей стране, подвергаются интенсивным процессам деградации, в основном из-за колебания климата, экстремальных природных явлений, нарушений в землепользовании и агротехнологиях. Эти факторы вызывают негативные процессы в агроэкосистемах, такие как эрозия почв, нарушение их агрохимического и водного балансов. Процессы деградации угодий развиваются быстрее, чем принимаются какие-либо компенсационные действия стабилизации экологической обстановки. В этой связи необходимо более активное внедрение реабилитационных технологий деградирующих агроландшафтов и создание устойчивых агросистем.

Развитие АПК России происходит в условиях острых геополитических и социально-экономических противоречий. В результате нашей страной принят курс на импортозамещение и технологический суверенитет. Продовольствие становится главенствующим активом и альтернативой энергоносителям, обеспечивая стабильность внутри страны и мощное влияние на внешние рынки. Необходимо отметить, что Россия экспортирует продовольствие в более чем 140 стран мира и валютная выручка достигает 45-47 млрд долларов в год.

Несмотря на рекорды последних лет, в которых огромная заслуга как ученых РАН, так и работников сельского хозяйства, необходимо отметить, что современный уровень производства не вполне соответствует потенциалу почвенно-земельных ресурсов России, устойчивости агроландшафтов, а научные достижения не реализуются должным образом. Системной проблемой остается снижение плодородия почв ввиду крайне недостаточных объемов внесения органических и минеральных удобрений. Достаточно сказать, что органических удобрений вносится в среднем около 1 тонны на гектар при научно-обоснованной норме 20-25 т/га.

В этой связи важно, что в 2021 году утверждена Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса. Программа рассчитана на 10 лет. По ее итогам планируется ввести в оборот более 13 млн. гектаров земель. За этот период на реализацию программы планируется направить более 530 млрд рублей. В соответствии с программой учеными Почвенного института им. Докучаева разработан государственный стандарт качества почв Российской Федерации, Государственный реестр почвенных ресурсов, методология создания адаптивно-ландшафтных систем земледелия, мониторинга состояния почв, картографирования угодий.

Огромная роль в защите и улучшении почв принадлежит мелиорации. Поэтому одна из важнейших задач – возрождение на современной основе мелиоративных технологий во всех их компонентах – создание гидротехнических сооружений, орошение сухих почв, осушение переувлажненных, рекультивация, борьба с эрозией. Очень важно системно укреплять технологическую базу мелиорации, используя при этом новейшие научные достижения и разработки.

В ноябре 2023 года принят Указ Президента Российской Федерации о развитии природоподобных технологий, в соответствии с которым оценка, прогнозирование и регулирование антропогенного воздействия на окружающую среду становятся одной из задач научно-технологического развития страны. Одна из крупных экологических проблем – утилизация отходов животноводства, которые в последнее время позиционируются как побочная продукция животноводства. Учеными РАН разработаны инновационные технологии на базе отечественного оборудования для получения и использования органических удобрений из побочных продуктов животноводства. В перспективе возможно производить до 400 млн тонн органических удобрений в год.

Наряду с проблемой сохранения почв основополагающей составляющей в технологическом развитии АПК страны является совершенствование существующей системы отечественной селекции и семеноводства.

Генетические ресурсы, составляющие основу селекции, становятся стратегической базой продовольственной безопасности страны. Ведущая коллекция генетических ресурсов растений сосредоточена во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, объем которой составляет более 320 тысяч уникальных образцов. На основе использования отечественного генофонда нашими учеными создано с внесением в Государственный реестр селекционных достижений более 10 тысяч сортов и гибридов сельхозкультур.

Необходимо подчеркнуть, что новые сорта отечественной селекции активно внедряются. Сорта озимой пшеницы Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко – «Алексеич», «Гром», «Таня» высеваются ежегодно более чем на одном миллионе гектаров каждый. В основных зерновых регионах практически на 100 % используются сорта наших ученых селекционеров. За предыдущие 5 лет внедрено более 30 сортов твердой пшеницы в основных зонах выращивания. Необходимо прилагать дополнительные усилия по внедрению этих сортов, совершенствованию технологий их возделывания, так как сегодняшний уровень производства твердой пшеницы около 600-700 тыс. тонн недостаточен даже для внутреннего потребления, с учетом того, что потребление макаронной продукции составляет около 1,5 млн тонн в год.

Экспортный потенциал твердой пшеницы очень высокий, поэтому нужно ставить задачу производить не менее 5-7 млн тонн. Повышенное внимание также необходимо уделять внедрению новых сортов и технологии возделывания исконно русской культуры – ржи. Производство ржаного зерна сократилось с 16 млн тонн в 1990 году до 2 млн тонн, что не может не вызывать тревогу.

Такая же тревожная ситуация с другой уникальной российской культурой – льном-долгунцом. В конце 80-х годов 20 века посевы льна составляли 750 тыс. гектаров, в настоящее время – 35 тыс., то есть в 20 раз меньше. По расчетам Центра лубяных культур для снабжения собственного производства минимально необходимая площадь посевов льна должна составлять 500 тыс. гектаров. Поэтому необходимы наши усилия в создании качественного посевного материала, технологий возделывания льна, уборки и переработки.

Важная составляющая технологического развития АПК - научное обеспечение животноводства - создание пород, кроссов животных, птиц, аквакультуры; современных технологий их разведения и содержания. Сельскохозяйственные животные играют одну из ключевых ролей в полноценном питании человека. По данным FAO они обеспечивают 40% потребляемого белка и 20% общего количества калорий. Задача наших ученых – ускорение создания новейших генетических технологий, повышение степени реализации генетического потенциала, создание новых пород, обеспечение здоровья животных и их репродукции.

К настоящему времени в Федеральном центре – ВИЖ им. Л.К. Эрнста и его филиалах сформирована Сетевая биоресурсная коллекция животных. Использование этого уникального генетического потенциала в племенной работе позволило в последние годы создать и апробировать свыше 40 новых высокопродуктивных пород, типов, линий и кроссов животных и птицы. Дальнейшее повышение конкурентоспособности отрасли животноводства может быть достигнуто на основе развития генетических технологий и репродуктивных технологий, разработки современных методов лечения, создания тест-систем и вакцин, улучшения систем содержания и кормления животных.

Актуальной проблемой остается техническое обеспечение сельскохозяйственного производства. Как известно, в 50-80-х годах прошлого века добиться реальной технико-технологической самодостаточности удалось именно в результате создания Систем машин и технологий, идеологом которых являлся институт ВИМ, которые развивались и дополнялись параллельно с развитием АПК.

Одна из ключевых проблем, которые мы должны решить для обеспечения технологического суверенитета – создание и внедрение современных технических средств – машин и оборудования для всех отраслей АПК. Для этой цели необходима системная научная и научно-техническая работа. Необходимо возрождение Системы машин для растениеводства и животноводства, но, безусловно, на новой научной и технологической основе. Система машин – это научно-обоснованная совокупность технических средств (или типажей) с множеством гармонизированных параметров.

Структурной основой Системы машин для растениеводства являются мобильные энергетические средства, или же по-простому тракторы, на базе которых формируются комплексы агрегатов. Учеными ВИМ создана концепция современного трактора. Это энергонасыщенное, автоматизированное и роботизированное мобильное энергосредство многофункционального назначения, оснащенное электроприводом, или же гибридным приводом, мехатронными узлами и агрегатами, системой автоматического вождения на основе технического зрения. С помощью искусственного интеллекта осуществляется система управления рабочими процессами и контроль технического состояния как энергосредства, так и операционных машин.

Реализацию Системы машин и технологий целесообразно начинать с остро необходимых приоритетных групп техники. В первую очередь это машины и оборудования для селекции, производства картофеля и овощей, для садоводства

и мелиорации. Безусловно, новая Система машин должна строиться на современной технологической основе. Особое внимание в ней должно быть уделено автоматизированным и роботизированным машинам и агрегатам, интеллектуальной технике, цифровым технологиям, биомашинным устройствам, электронной элементной базе.

Беспилотные летательные аппараты стремительно ворвались во многие сферы деятельности, в том числе активно применяются в сельском хозяйстве. Нашими учеными создаются различные платформенные решения, конструктивно-технологические схемы, разрабатываются методы мониторинга и оценки состояния полей, почвы, растений, урожайности, картографирования полей, контроля качества различных технологических операций.

Создаются технологии, технические средства и программное обеспечение выполнения точных операций, например, для оперативного подавления очага заболеваний или вредителей, локального внесения химических средств и минеральных удобрений.

Очень важная проблема, которую решают ученые – это создание функциональных продуктов питания, хлебобулочных, мясных, молочных продуктов; безалкогольных и спиртных напитков. Предложена парадигма Единого здоровья на основе качественного безопасного питания. Идея заключается в обеспечении тесной взаимосвязи элементов биосферы при формировании состава и свойств сырья, создании экологически чистых технологий производства продуктов путем сквозного контроля технологической дисциплины и сквозного контроля загрязнений, начиная от обработки почвы, возделывания растений, здоровья животных, внесения удобрений, химикатов, уборки, послеуборочной обработки и собственно пищевых производств. Реализация этой парадигмы базируется на участии в ней всех секций и научных направлений отделения сельскохозяйственных наук.

АКАДЕМИК РАН А.И. АЛТУХОВ
«СОСТОЯНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ
РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО
КОМПЛЕКСА СТРАНЫ»

В современных условиях российский агропромышленный комплекс представляет собой сложную многоотраслевую, но еще окончательно организационно не сформировавшуюся производственную и социально-экономическую систему. Вместе с тем, это один из самых крупных многоотраслевых и ключевых секторов экономики, во многом обеспечивающий продовольственную безопасность, производящий до 7,5% ВВП страны.

Россия вошла в десятку государств по объему добавленной стоимости, произведенной в сельском хозяйстве, а с 2020 г. приобрела статус одного из крупных нетто-экспортеров сельскохозяйственной и продовольственной продукции, заняв лидирующие позиции по экспорту зерна, который является одной из ключевых составляющих обеспечения мировой продовольственной безопасности. Ее продовольственная самодостаточность стала реальным конкурентным преимуществом, а растущий экспорт зерна и особенно пшеницы – значительно укрепил и расширил политический имидж страны в мире.

Несмотря на сложное для экономики страны время именно развитие АПК не только обеспечило выполнение пороговых значений национальной Доктрины продовольственной безопасности по зерну, сахару, растительному маслу, мясу и мясопродуктам, рыбе и рыбопродуктам, но и создало по этим видам продукции экспортный потенциал. Однако достигнутые агропромышленным комплексом и его базовой отраслью – сельским хозяйством успехи оказались недостаточными, чтобы:

– осуществлять в рациональных объемах ускоренное импортозамещение по продукции скотоводства, овощеводства, плодоводства и даже картофелеводства, по которым сложилась многолетняя относительно высокая импортная зависимость;

– системно решать вопросы улучшения питания населения, ликвидации значительных различий по уровню и качеству питания между отдельными его категориями и регионами страны, неуклонного сокращения удельного веса затрат домашних хозяйств на продовольствие в общем объеме потребительских расходов, который превышал аналогичный показатель многих экономически развитых стран в 2-3 раза;

– уменьшить значительную межрегиональную и региональную дифференциацию в уровне жизни сельского населения, социально-экономическом развитии села, ликвидации и смягчении социального «опустынивания» отдельных территорий страны, особенно в большинстве ее депрессивных и слабозаселенных регионов с неразвитой транспортной инфраструктурой;

– комплексно и ускоренно развивать сельские территории, достойно оценивать труд работников сельского хозяйства, уровень оплаты которых остается почти на одну треть ниже, чем в целом по экономике, повышать престиж сельского образа жизни на селе и особенно сельского труда;

– более активно замещать импортные основные и оборотные средства производства отечественными, укреплять материально-техническую и инфраструктурную базу производства и движения сельскохозяйственной и продовольственной продукции на внутренний и внешний агропродовольственные рынки;

– замедлять тенденции неравномерности в темпах и уровне социально-экономического развития отдельных отраслей и подотраслей агропромышленного комплекса и сельских территорий, а также смягчать негативное влияние разного рода рисков, угроз, вызовов и форс-мажорных обстоятельств на обеспечение продовольственной безопасности;

– устойчиво повышать доходность прежде всего сельского хозяйства, достаточную для ведения отрасли на расширенной основе путем рационального использования производственных ресурсов и государственной поддержки;

– ускорить темпы технико-технологического обновления и модернизации агропромышленного комплекса и его отраслей за счет более активного привлечения инвестиций в их основной капитал, совершенствования ценообразования между сферами и отраслями комплекса и особенно внутри них.

Развитие агропромышленного комплекса преимущественно определяется макроэкономическими условиями, которые по возможности создает государство в разных формах поддержки, например, в первую очередь для ведения сельского хозяйства на расширенной основе. Напрямую это связано с доходностью сельского хозяйства, которая преимущественно определяется возможностями для активного привлечения инвестиций в основной капитал отрасли для ее устойчивого развития независимо от воздействия негативных факторов, связанных с недостатками проведения денежно-кредитной политики, ограничивающей доступность кредитных ресурсов для аграрного бизнеса.

В силу разных объективных условий сельское хозяйство традиционно обладает более низкой конкурентоспособностью по сравнению с другими отраслями экономики. Для него характерны хроническая инвестиционная недостаточность, традиционно не привлекательная для бизнеса сфера экономической деятельности, слабая инвестиционно-инновационная активность прежде всего из-за низкой и неустойчивой доходности подавляющего количества сельскохозяйственных товаропроизводителей, особенно расположенных в депрессивных регионах и на многочисленных территориях преимущественно очагового распространения ведения отрасли. Однако при этом одновременно следует учитывать, что сельское хозяйство обеспечивает один из самых высоких мультипликативных эффектов среди других отраслей агропромышленного комплекса, прямо или косвенно влияющих на социально-экономическое развитие страны, особенно на ее сельские территории, на которых производится около одной шестой части ВВП страны.

С одной стороны, из-за преимущественно низкой и неустойчивой доходности ведения сельского хозяйства у значительной части сельскохозяйственных организаций страны медленными темпами происходит обновление сельскохозяйственной техники, стоимость которой к тому же неуклонно возрастает, намного опережая темпы прироста производства сельскохозяйственной продукции. Современный уровень отечественного производства основных видов техники и сохраняющийся их значительный импорт не позволяют пока восполнить даже их выбытие в сельскохозяйственных организациях, вследствие чего обеспеченность

энергетическими мощностями сельского хозяйства практически не увеличивается. С другой стороны, при такой негативной ситуации с обновлением отрасли прежде всего сельскохозяйственной техникой ее доходность подрывает развитие сельскохозяйственного машиностроения со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями для устойчивого ведения сельского хозяйства как первоосновы обеспечения продовольственной безопасности.

В стране инвестиционная деятельность в сельском хозяйстве преимущественно реализуется за счет собственных средств предприятий, на долю которых приходится свыше двух третей их объема, а также привлечения кредитов и займов. Средства федерального бюджета, региональных и местных бюджетов составляют лишь 0,5%, что слишком мало для ведения отрасли на инновационно-инвестиционной основе за счет использования преимущественно отечественных технологий. Как правило, объемы государственной поддержки инвестиционного развития сельского хозяйства традиционно направлены преимущественно на крупный аграрный бизнес, они существенно варьируют по годам и не всегда соответствуют решению поставленных стратегических задач по технико-технологичному перевооружению сельского хозяйства. Положение с активным привлечением инвестиций в отрасль осложняется еще и тем обстоятельством, что их динамика не только ниже в целом по экономике, но и по сравнению с производством пищевых продуктов и напитков, входящих в третью сферу агропромышленного комплекса.

В стране по-прежнему основным механизмом, обеспечивающим приток инвестиций в агропромышленное производство, является льготное кредитование. На него приходится 87% всех выделенных субсидий на реализацию федерального проекта «Стимулирование инвестиционной деятельности в агропромышленном комплексе». Однако почти три четверти выдаваемых льготных кредитов – это преимущественно краткосрочные кредиты. Причем, в инвестиционном кредитовании большая часть кредитных ресурсов направляется на поддержку ранее выданных кредитов. Поэтому на вновь выдаваемые инвестиционные кредиты приходится недостаточные объемы государственной поддержки. Кроме того, в привлечении и использовании кредитных ресурсов сохраняется значительная региональная дифференциация, поскольку государственной поддержкой преимущественно пользуются лишь около 15 регионов, а объемы государственной поддержки для инвестиционного развития малых форм хозяйств хронически недостаточны. Вместе с тем, несмотря на эти и другие недостатки, эффективность привлечения инвестиций в основной капитал отрасли в последние годы возрастала, что свидетельствует о их высокой востребованности сельскохозяйственными организациями и другими категориями хозяйств.

Что касается размера государственной поддержки сельского хозяйства, то сначала при реализации Государственной программы в текущих ценах она значительно увеличилась, но в сопоставимых ценах объемы финансирования в 2022 г. были лишь на 12,9% выше, чем девять лет назад. В последние годы даже при опережающих темпах увеличения производства продукции сельского хозяйства по сравнению, например, с темпами роста валового внутреннего продукта сохранялось ухудшение макроэкономических показателей развития отрасли. Более того, сельскохозяйственные товаропроизводители в отдельные годы в виде разного рода налогов и сборов выплачивали государству сумму, которая в 1,2-1,7 раза превышала объем финанси-

рования Государственной программы и в 1,4-3,4 раза – объем полученных субсидий. Причем это происходило на фоне неплатежеспособности многих сельскохозяйственных организаций, их растущей кредиторской задолженности, достигшей в 2021 г. 4,1 трлн руб., превратившей значительную часть этой основной категории товарных хозяйств фактически в финансового банкрота.

Хотя в последние годы сельское хозяйство развивалось более динамично, чем, например, экономика страны и ее промышленное производство, однако темп роста цен на его продукцию существенно уступал аналогичному показателю отраслей двух других сфер АПК и повышению потребительских цен. Если в 2010-2022 гг. цены производителей сельскохозяйственной продукции увеличились в 2,3 раза, то в первой сфере агропромышленного комплекса они выросли в 2,7 раза, в третьей – в 2,6 раза, а потребительские цены повысились в 2,7 раза. Таким образом, внутри самого АПК наиболее незащищенной отраслью является и традиционно остается сельское хозяйство. Но именно оно в большей степени испытывает не только неблагоприятное влияние природных, но и макроэкономических условий, поскольку экономический механизм каждой сферы АПК и ее отраслей во многом обособлен и не ориентирован на общий результат деятельности в рамках комплекса.

По-прежнему значительным макроэкономическим фактором, осложняющим развитие АПК и особенно сельского хозяйства, остаются нестабильность и сохраняющийся относительно низкий уровень платежеспособного спроса населения, реальные доходы которого растут медленными темпами, а в отдельные годы даже снижаются. Безусловно, это негативно отражается на потреблении отдельных пищевых продуктов, особенно в первой децильной группе домашних хозяйств, где доля расходов на покупку пищевых продуктов в их потребительских расходах в 2,4 раза больше, чем в десятой децильной группе. Ее население не в состоянии обеспечить уровень питания, отвечающий рекомендованным рациональным нормам потребления. Прежде всего это относится к потреблению овощей, фруктов, молочной и мясной продукции, по которым уровень потребления был в полтора-два раза ниже по сравнению с десятой децильной группой. Осложняет ситуацию с обеспечением населения продовольствием сохраняющаяся относительно высокая доля импортных продовольственных товаров в товарных ресурсах розничной торговли продовольственными товарами, которая с 2016 г. практически не снижается.

Современный уровень государственной поддержки сельского хозяйства хотя и обеспечивает относительные успехи в развитии его отдельных подотраслей, но не позволяет более активно решать системные проблемы развития самой отрасли и особенно сельских территорий, применять не отдельные меры, а комплексный подход, опираясь прежде всего на эффективное использование внутренних природных и производственных ресурсов, улучшение системы государственного управления агропромышленным комплексом на всех его уровнях. Даже несмотря на достигнутые сельским хозяйством положительные результаты, его развитие по-прежнему остается не только отраслевой, но и крупной межотраслевой проблемой. Ее решение в первую очередь определяется проводимой государством по отношению к ведению сельского хозяйства социально-экономической и аграрной политикой, соблюдением принципа его особой приоритетности. Он должен подкрепляться и соответствующей государственной поддержкой, по своему объему

соразмерной с возможным достижением поставленных перед отраслью приоритетных и решаемых задач. Однако при сложившейся системе государственной поддержки сельского хозяйства как базовой отрасли АПК и при дефиците инвестиций даже при увеличении их объема, направленного на развитие отрасли, она испытывает разного рода трудности, связанные, например, с внедрением и использованием инноваций. По существу, сельское хозяйство не получило приоритетной поддержки со стороны государства, если оценивать его развитие по основным макроэкономическим показателям. Так, вклад сельского хозяйства значительно выше, чем его доля в сальдированном финансовом результате, расходах консолидированного бюджета и инвестициях в основной капитал. Например, в 2022 г. при 4,3% удельном весе отрасли в валовой добавленной стоимости, ее доля в инвестициях в их общем объеме в экономику составляла 3,7%, а в общих расходах консолидированного бюджета страны – лишь 1,0%.

В современных условиях агропромышленный комплекс, как сложная и четко организационно оформленная система аграрной экономики страны, обособленно не существует и практически не управляется. Поэтому в стране фактически отсутствуют соответствующие специализированные государственные органы, регулирующие совокупность отдельных сфер и отраслей его экономической деятельности. Их функции в определенной мере выполняют федеральные и региональные органы управления агропромышленным комплексом, но применительно лишь к отдельным его структурным сферам и отраслям, что вызвано многими объективными и субъективными причинами. Основная из них заключается в том, что в сложившихся социально-экономических условиях организационно-экономический механизм каждого хозяйствующего субъекта во многом обособлен и не ориентирован на общий результат совместной деятельности даже производственно-технологически связанных между собой отраслей и подотраслей комплекса. При такой ситуации и отсутствии межотраслевого баланса АПК по-прежнему следует преимущественно рассматривать как объект научного исследования, выявления его «узких мест» с целью их «расшивки».

В сложившихся сложных и неоднозначных макроэкономических условиях в стране, безусловно, трудно дать наиболее вероятные прогнозы социально-экономического развития ее АПК на ближайшую и более удаленную перспективу. В этой связи объективно возникает необходимость внедрения новой модели развития российской экономики, способной обеспечить ее динамичный и устойчивый рост, основанный преимущественно на рациональном использовании внутренних производственных ресурсов. Поэтому в качестве основных национальных целей социально-экономического развития страны, в частности, определены ускорение технологического развития, обеспечение активного внедрения инноваций, цифровых технологий, создание в базовых отраслях экономики высокотехнологичного экспортно-ориентированного сектора. Безусловно, в первую очередь это касается и агропромышленного комплекса, развитие которого в наибольшей степени влияет на достижение национальных целей и напрямую связано с качеством и уровнем жизни прежде всего сельского населения и социально-экономическим развитием сельских территорий. Так, согласно актуализированной Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на

период до 2030 года, необходимо обеспечить среднегодовой темп роста объема производства продукции сельского хозяйства не менее 3% при одновременном увеличении в полтора раза инвестиций. Для этого предстоит:

- консолидировать усилия государственной власти, науки и бизнес-сообщества для устойчивого развития АПК, повышения конкурентоспособности его продукции на внутреннем и внешнем агропродовольственных рынках, эффективного использования преимуществ международного разделения труда в агропромышленном производстве, особенно с дружественными странами;

- обосновать возможность и применение наиболее эффективных моделей и механизмов для проведения ускоренной структурной и технологической модернизации АПК для ускоренного перевода его отдельных отраслей на инновационно-инвестиционный путь развития на основе использования преимущественно прорывных отечественных технологий;

- повысить инвестиционную активность предприятий АПК на основе использования более эффективного организационно-экономического механизма внедрения и освоения инноваций, совершенствования всей системы инновационно-инвестиционного развития агропромышленного производства, более активной государственной поддержки прежде всего сельского хозяйства и сельских территорий;

- осуществить реализацию системы наиболее эффективных первоочередных организационно-экономических мер по совершенствованию инновационно-инвестиционной деятельности в АПК и его отдельных отраслях, используя в максимальной степени законодательное обеспечение приоритетного развития сельского хозяйства и его подотраслей, обеспечивающих продовольственную безопасность страны, создание экспортных ресурсов сельскохозяйственной и продовольственной продукции;

- принять более оперативные и одновременно масштабные меры в первую очередь со стороны государства в силу ряда возникших новых обстоятельств внутреннего и внешнего характера, которые должны соответствовать национальной аграрной политике, надежному обеспечению продовольственной безопасности;

- обеспечить приоритет сельского хозяйства со стороны государства, чтобы он стал общей стратегией его развития преимущественно опережающего, а не догоняющего типа, вне зависимости от наличия разного рода многих внутренних и внешних рисков, угроз и вызовов, а также форс-мажорных обстоятельств.

Таким образом, лишь в первую очередь опираясь на рациональное использование огромного аграрного потенциала страны и активную государственную поддержку прежде всего развития сельского хозяйства и сельских территорий, можно обеспечить динамичный и устойчивый рост производства сельскохозяйственной и продовольственной продукции, надежно обеспечить продовольственную безопасность и поднять жизненный уровень сельского населения. Аграрная сфера экономики подошла к такому рубежу, когда она, сориентированная на реализацию модели инновационно-инвестиционного развития, способна не только надежно обеспечить национальную продовольственную безопасность, но и повысить роль страны в качестве крупного мирового экспортера сельскохозяйственной и продовольственной продукции, соответствующей рациональному использованию огромного аграрного потенциала с учетом изменившихся территориально-административных границ.

АКАДЕМИК РАН В.А. ШЕВЧЕНКО
«НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕЛИОРАЦИИ
ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ»

Устойчивое развитие сельскохозяйственного производства в России невозможно без осуществления мелиоративной деятельности. Мелиорация земель в большинстве регионов нашей страны является важным условием эффективного ведения сельского хозяйства. Значительная роль в научном обосновании комплексных мелиораций в нашей стране принадлежит головному научному учреждению в области гидромелиоративных сооружений и мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Федеральному научному центру гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. Здесь были заложены основы мелиоративной науки академиком А.Н. Костяковым и его сподвижниками (А.Д. Брудастов, И.А. Шаров, Е.А. Замарин, А.В. Потапов, Л.П. Розов, С.В. Астапов и др.). Выполненные учеными института в течение многих лет фундаментальные и прикладные исследования внесли значительный вклад в развитие теории мелиоративной науки и практической реализации в сфере гидравлики, гидротехники, механизации, орошения и осушения земель и по многим другим направлениям. Эти исследования активно ведутся и в настоящее время.

В период активного развития мелиорации в нашей стране (с 1966 по 1990 гг.) были построены крупные оросительные и оросительно-обводнительные системы, интенсивно развивались осушительные мелиорации в Нечерноземной зоне, Сибири и на Дальнем Востоке, проводились мероприятия по освоению новых территорий и повышению плодородия почв. Выполненный объем мелиоративных работ позволил увеличить к 1990 году среднюю продуктивность орошаемого гектара до 4,2...4,6 тыс. к. ед. осушаемого до 2,7...3,0, что в засушливые годы в 4-5 раз превышало урожайность на богаре. Мелиоративная отрасль производила до 15% валового производства сельскохозяйственной продукции.

Мелиорации земель в нашей стране всегда придавалось большое значение, а в будущем необходимость в проведении мелиоративных работ будет только возрастать, это связано с нарастающей турбулентностью климата, неравномерностью распределения водных ресурсов. Эрозии и дефляции подвержены 84,8 млн га пашни, на значительных территориях наблюдаются процессы опустынивания и засухи, около 3% пашни занимают засоленные почвы и 8-9% солонцовые. Общая площадь неиспользуемых земель, пригодных в России для аграрного производства, оценивается в 44 млн га, половина из которых пашня.

В 2021 г. стартовала Госпрограмма эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса, рассчитанная до 2031 года. Она направлена на предотвращение выбытия из оборота сельскохозяйственных земель, ввод в оборот неиспользуемых земель, сохранение и повышение плодородия почв, а также обновление и развитие мели-

оративного комплекса. В первую очередь это относится к Нечерноземной зоне. Состояние дел в этом регионе имеет крайне важное социально-экономическое значение. Преимущество ведения сельского хозяйства в Нечерноземье определяется наличием значительного количества земель, пригодных для сельскохозяйственного производства и хорошей влагообеспеченностью, что позволяет получать гарантированные урожаи даже в острозасушливые годы. Помимо того, развитие мелиорации в данном регионе приведет к созданию новых рабочих мест, а значит существенно улучшит социальные условия региона и демографические показатели, что является важнейшим условием эффективного развития сельского хозяйства в стране.

Для успешной реализации Госпрограммы в Федеральном научном центре гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова разработаны и внедрены в производство перспективные агромелиоративные приемы и способы освоения выбывших из оборота земель. Они включают рациональную систему применения органических, минеральных удобрений и арборицидов; адаптивные приемы борьбы с сорной растительностью и фитопатогенными микроорганизмами, защиту агроценозов от вредных организмов альтернативными способами, производство органически чистой сельскохозяйственной продукции на вновь вводимых в оборот землях.

В процессе многолетних исследований определена роль отдельных культур зернопропашного севооборота в обогащении почвы органическим веществом и элементами минерального питания за счет пожнивно-корневых остатков, а также биомассы пожнивного сидерата. Предложенные приемы заделки в почву органических удобрений и растительных остатков, в сочетании с внесением компенсационных доз минеральных удобрений под планируемую урожайность, стабилизируют содержание гумуса в почве на уровне 3,0% и обеспечивают в первой ротации севооборота урожайность озимой пшеницы более 5,5 т/га, ячменя — 3,5 т/га, картофеля более 25 т/га и однолетних трав на сено более 4,5 т/га.

Для оценки потенциальной продуктивности агроэкосистем в Нечерноземной зоне Российской Федерации составлена база данных и разработана автоматизированная информационно-коммуникационная система, обеспечивающая поддержку сельхозпроизводителя в выборе агротехнических и мелиоративных мероприятий при вовлечении в оборот земель сельскохозяйственного назначения, обоснован комплекс культуртехнических и агромелиоративных мероприятий при вовлечении в оборот земель сельскохозяйственного назначения, обеспечивающий восстановление их плодородия и эффективность использования.

Среди современных вызовов сельскому хозяйству выделяются климатические риски, которые в соответствии со Стратегией экологической безопасности Российской Федерации, отнесены к угрозам национальной безопасности, также как опустынивание, засуха, деградация земель и почв и водных объектов и т.д. Статистика показывает, что с изменением климата увеличиваются повторяемость и мощность стихийных бедствий, включая как высокие весенние паводки, так и летне-осенние половодья; это одно из проявлений глобальных климатических изменений, снижающих надежность и безопасность работы гидротехнических сооружений. Проводимые в Центре исследования по разработке мониторинга ме-

лиоративных систем направлены на оценку технического состояния ГТС и предупреждение негативных последствий. Намечено организовать работу по осуществлению технико-экологического аудита мелиоративных систем и ГТС, который позволит оценить эффективность их функционирования на текущий момент времени, объемы восстановительных работ для перспективного планирования проведения восстановительных работ и очередности их проведения.

В настоящее время более 100 млн га сельскохозяйственных угодий, на которых проживает около половины населения страны и производится более 70% сельскохозяйственной продукции, фактически или потенциально подвержены засухам и опустыниванию. Чтобы уменьшить ущербы от климатических изменений, необходимо адаптировать модели ведения сельского хозяйства в различных почвенно-климатических зонах посредством внедрения эффективных агротехнических и мелиоративных мероприятий, направленных на повышение водообеспеченности территории. В них входят: применение комбинированных малообъемных способов орошения; повторное использование сбросных коммунальных и дренажных вод; изменение структуры севооборотов; восстановление и эффективное функционирование гидротехнических сооружений; проведение реконструкции и осуществление строительства оросительных систем; широкое использование фито- и лесомелиорации и пр. Это сократит потери продукции АПК в годы экстремальных погодных аномалий. Разработанные специалистами Центра Концепция экологического обоснования комплексных мелиораций для предотвращения опустынивания территорий приемы и технологии восстановления пастбищных экосистем и повышение плодородия почв на основе фито- агролесомелиорации позволяют снизить негативные проявления и сохранить до 50% урожая.

Для восстановления вторично засоленных почв с близким залеганием грунтовых вод предложена технология формирования мелиорированного агрофитоценоза, а также приемы создания лиманных агроэкосистем, способствующие восстановлению продуктивных качеств фитоценозов на разных типах почв. С целью восстановления деградированных пастбищных угодий разработана методика и создана база данных «Геоботанический мониторинг естественных угодий пустынной зоны Республики Калмыкия», что позволяет организовать рациональное использование сельскохозяйственных угодий, провести фитомелиоративные работы на деградированных землях, рассчитать кормовую емкость пастбищ.

Стратегическим направлением дальнейшего развития гидромелиорации должно стать создание гидромелиоративных систем нового поколения, в том числе малообъемного орошения, обеспечивающих прецизионное управление поливами в автоматизированном режиме. Сотрудниками Центра реализована возможность совместного использования капельного орошения как основного элемента регулирования водного режима почвы и мелкодисперсного дождевания для улучшения микроклимата посевов и защиты посевов от климатических рисков. Такие системы нашли применение в фермерских хозяйствах сухостепной зоны Волгоградской области. Разрабатываются новые конструкции гидромелиоративных систем двухстороннего регулирования водного режима почвы и водооборотные системы, обеспечивающие повторное использование дренажных вод на орошение, с технологическими узлами по очистке и водоподготовке дренажных вод.

Научное решение проблемы переувлажнения сельскохозяйственных угодий связано с детальным исследованием текущего состояния осушительных систем и осушенных земель. В планах исследований Центра перспективным направлением становится разработка и внедрение инновационных технологий осушения и создание автоматизированных дренажных систем, позволяющих регулировать дренажный сток при помощи специальных устройств со встроенной системой управления.

Многолетние климатические изменения привели к снижению водности ряда рек России. За последние годы произошло сокращение величины годового стока в Волжско-Камском бассейне, в бассейне реки Дон и Кубань. Произошло сезонное перераспределение стока в сторону увеличения в летне-осеннюю и зимнюю межени. Это существенно влияет на орошаемое земледелие, поскольку в вегетационный период уменьшился объем доступной для орошения воды. Специалистами Центра составлен долгосрочный прогноз изменения водных ресурсов бассейна реки Дон и определены меры по обеспечению населения и объектов экономики водными ресурсами в маловодные периоды. Определены перспективы использования водных ресурсов бассейна р. Кубань, разработаны рекомендации по повышению водообеспечения рисовых оросительных систем. Проведено районирование территории Республики Калмыкия по обеспеченности поверхностными и подземными водами, и установлено, что дефицит водных ресурсов составляет 84 млн м³.

Для эффективного управления водными ресурсами разработана Геоинформационная веб-система поддержки принятия решений по управлению водохозяйственным комплексом Республики Калмыкия. Система разработана и апробирована на примере Сарпинской ООС.

Одним из направлений по снижению дефицита водных ресурсов является возможность использования подземных вод на орошение. Выполненное в Центре районирование юга европейской части России по величине водообеспеченности орошения показало, что запасы подземных вод, потенциально доступные для временного изъятия в острозасушливые годы, есть практически во всех воддефицитных регионах. Около 65% подземных вод можно использовать без предварительной очистки.

В Республике Крым с учетом современной ситуации разрабатываются методы, модели, алгоритмы нормирования водопользования, оперативного планирования водораспределения на оросительных системах в условиях резкого дефицита водных ресурсов. Предложено и обосновано использование нормативно-очищенных сточных вод на орошение, с учетом обеспечения экологической безопасности орошаемых агробиоценозов. Это позволит ввести в оборот ещё 7,2 тыс. га дополнительных площадей. Новые подходы по обоснованию дифференцированных режимов орошения сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата позволяют обеспечить сокращение оросительных норм на 10-12% без потери урожайности.

Проводятся исследования по научному обоснованию адаптивно-ландшафтных систем орошаемого земледелия и возделыванию сельскохозяйственных культур, адаптированных к климатическим изменениям. Созданы и прошли проверку новые гибриды кукурузы и сои, разработаны технологии их возделывания на орошаемых землях, предложены севообороты разной специализации. Внедряются

разработанные системы агромелиоративных технологий, включающие способы обработки почв, применение удобрений и средств защиты растений, эффективные режимы орошения, обеспечивающие высокий уровень продуктивности орошаемых земель при сохранении их плодородия. Разработана и апробирована водосберегающая технология возделывания суходольного риса периодическими поливами на оросительных системах общего назначения. Для улучшения качества воды в водоисточниках предложено использовать микроводоросль *Chlorella vulgaris*. Все это позволяет повысить устойчивость сельскохозяйственного производства в острозасушливой зоне страны.

Цифровизация и автоматизация агропроизводства становится признанной необходимостью для всех сфер, включая мелиоративный комплекс. Предложена структура платформы «Цифровая мелиорация», которая позволяет интегрировать весь объем знаний, информации и сведений в сфере мелиоративной деятельности, необходимой для принятия решений на всех уровнях.

Таким образом, средствами комплексной мелиорации обеспечивается возможность компенсации негативных проявлений на сельскохозяйственных землях, снижение рисков, связанных с климатическими, почвенными и хозяйственными изменениями, что обеспечивает повышение устойчивости и продуктивности сельского хозяйства, а также решает ряд экономических и социальных региональных проблем.

Научный потенциал ФГБНУ ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», имеющего вековой опыт проведения и реализации фундаментальных и прикладных исследований, позволяет успешно решать современные проблемы в области гидротехники, комплексной мелиорации, водном хозяйстве и мелиоративном земледелии.

АКАДЕМИК РАН А.А. ЗАВАЛИН
«ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ»

Вопросы технологического развития земледелия находились всегда в центре внимания членов нашей Секции. В начале этого века усилиями многих ученых была разработана «Методика проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий». В последствии на их основе созданы «Системы земледелия и агротехнологии» для отдельных субъектов Российской Федерации, которые были утверждены органами исполнительной власти и рекомендованы во многих регионах страны. При поддержке ученых они успешно осваиваются не только в отдельно взятых хозяйствах, но и в субъектах Российской Федерации.

Любая система земледелия должна базироваться на агроэкологической оценке имеющихся земель, насколько они пригодны для выращивания сельскохозяйственных культур, с учетом этого и имеющихся ресурсов проектируются агротехнологии различной интенсификации.

В настоящее время Россия занимает третье место в мире по площади пашни, второе место по обеспеченности пашней на одного человека, располагает почти половиной самых богатых почв – черноземов. Каково состояние наших почв? К сожалению в стране не используется 20 млн га пашни, нарушаются севообороты, увеличиваются площади деградированных земель, почти 70 млн га подвержены эрозии и дефляции, более 75 млн га имеют неблагоприятные для возделываемых сельскохозяйственных культур агрохимические показатели (реакцию почвенной среды, низкое содержание доступных растениям элементов питания, содержание органического вещества, загрязнены радионуклидами, развивается опустынивание).

Обратимся к состоянию почв в Центральном Черноземье. Здесь, в результате многовекового земледелия и интенсивного использования нарастающими темпами развиваются эрозионные процессы водной и ветровой эрозии, снижается обеспеченность почв углеродом, основными элементами питания растений. Устранение этих негативных проблем может быть успешно осуществлено в результате выполнения комплекса приемов, которые включены в адаптивно-ландшафтные системы земледелия и агротехнологии.

Не могу обойти стороной такой важный вопрос как оценка агрохимического состояния наших почв. Для этого в стране уже 60 лет действует специальная Агрохимическая служба, которая осуществляет наблюдения за происходящими процессами в почвах. В последние годы увеличиваются площади кислых почв, даже на черноземах. Из-за этого недобор зерна составляет 16-18 млн т. в год. На кислых почвах невозможно применение точного земледелия и использование технологий органического земледелия. Если обратиться к статистике по обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, то оно в последние годы не изменяется в худшую сторону, поскольку выведены из оборота почвы с низкой обеспеченностью этими элементами.

Обозначенные выше проблемы известны всем, находятся в центре внимания всех ветвей власти, но в результат имеем то, что имеем. Для решения этих проблем необходимо существенное совершенствование законодательства, и на мой взгляд, в части ответственности землевладельцев за состояние почв, поскольку они должны передать её новым поколениям в хорошем состоянии.

В мире в 60-е годы прошлого столетия произошла зеленая революция, в 80-е годы агрохимическая, в 90-е годы информационная, в результате чего урожайность зерновых достигла 3,2 т/га, а в некоторых даже до 8 т/га. В нашей стране в последние годы урожайность зерна соответствует мировой, валовой его сбор достигает 140-150 млн т, при практически стабильном объеме посевных площадей зерновых культур, но при повышении их урожайности. По показателю научно-технического прогресса и экономического развития Российской Федерации перешла в группу экономически ориентированных стран.

Для производства растениеводческой продукции, как уже отмечалось выше, учеными разрабатываются адаптивно-ландшафтные системы земледелия и агротехнологии сельскохозяйственных культур. Агротехнологии по уровню интенсивности разделяются на: экстенсивные, нормальные, интенсивные, высокие. Для каждого уровня интенсификации соответствует свой сорт, почвенно-ландшафтные условия, минеральные и органические удобрения, средства защиты растений, приемы обработки почвы, применение сельскохозяйственной техники, прогнозируется качество получаемой растениеводческой продукции, оцениваются экологические риски. Среди затрат на производство растениеводческой продукции в интенсивных технологиях основная доля приходится на сорт или гибрид и минеральные удобрения.

Для агроэкологической оценки почв (пригодность для возделывания тех или иных культур) впервые разработана цифровая инвентаризация почв России, служащая информационным ресурсом о сельскохозяйственных и других землях страны.

За последние более чем 20 лет посевные площади зерновых культур продолжают расти, особенно пшеницы, более чем в 8 раз увеличились площади сои, почти в 2,5 раза посевы зернобобовых культур, в результате этого в земледелии России поступление биологического фиксированного азота достигло более 1 млн. тонн.

Учеными экономистами нашего Отделения разработан прогноз производства продукции растениеводства, предусматривающий: а) технологическую адаптацию и б) технологический рывок. По сценарию а) производство зерна к 2030 г. должно возрасти до 147 млн т, по сценарию б) до 161 млн т, также по этим сценариям планируется рост производства других сельскохозяйственных культур. С учетом современного развития и планируемых сценариев рассчитана потребность в минеральных удобрениях. В настоящее время для формирования урожая растениями используется примерно 13 млн т элементов питания. По сценарию технологической адаптации потребность в них возрастет примерно на 1 млн т, по сценарию технологического рывка почти до 16 млн т. Однако, если расчет потребности в элементах питания производить только с учетом отчуждения с полей с товарной частью урожая, то их значения в 2,0-2,4 раза меньше.

Естественно, если производить расчет баланса элементов питания с учетом их потребностей для формирования биомассы урожая и отчуждения с полей только с товарной частью урожая, то его состояние по азоту оценивается как близкое к оптимальному.

В Российской Федерации в последние годы органами управления АПК принимаются меры к увеличению объемов вносимых минеральных удобрений, например в 2023 г. закупки удобрений достигли 5,3 млн т, применение их составило 65 кг/га, в ближайшее время должно достичь 8 млн т в действующем веществе, что соответствует количеству элементов питания, которое необходимо для получения товарной части урожая по сценарию технологического рывка. Для стабилизации содержания органического вещества в почвах предлагается разнообразный ассортимент органических удобрений: побочные продукты животноводства, сидераты, органические отходы после переработки. Использование их обеспечит поступление в почву 71,5 млн т органического вещества и 4,6 млн т элементов минерального питания. Агрономически, экологически и энергетически эффективным приемом обеспечения растений азотом служит биологический, фиксируемый симбиотическими и ассоциативными микроорганизмами, объемы которого за последние 10 лет удвоились и достигли более 1 млн тонн.

Для решения технологического развития земледелия научно-исследовательскими учреждениями и высшими учебными заведениями, находящимися под научно-методическим руководством Секции, за последние годы разработана новая структура севооборотов (3 НИУ), усовершенствованы приемы обработки почвы (6 НИУ) и созданы или усовершенствованы 14 учреждениями агротехнологии сельскохозяйственных культур. С участием ученых, работающих в различных НИУ, развиваются научные исследования, направленные на использование цифровых технологий в земледелии.

В Российской Федерации, как и других странах, расширяется использование органического земледелия, в этой связи необходимо выполнение работ по научно-обеспечению развития этого направления в научно-исследовательских и высших учебных заведениях.

Основные направления научного обеспечения технологического развития земледелия в России определены в Программе фундаментальных научных исследований на 2021-2030 годы. В результате проведения НИР планируется создать научную продукцию: инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур на базе цифровых систем; способы биологизации и экологизации систем земледелия, включения в традиционные технологии ресурсосберегающих и углерод-депонирующих приемов для разных почвенно-климатических условий; новые энергоэффективные системы обработки почвы; приемы корректировки минерального питания и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием данных дистанционного зондирования Земли; технологии реутилизации и биоконверсии органических отходов; технологии применения различных физических факторов в АПК; регламенты применения новых полифункциональных агрохимических средств биологического и химического происхождения; технологии промышленного культивирования, производства и применения новых биопрепаратов. Должна совершенствоваться система метрологического обеспечения аналитических работ по контролю качества сельскохозяйственной продукции, сырья, продовольствия и состава компонентов агроценоза.

Использование товаропроизводителями этих разработок будет способствовать технологическому развитию земледелия в нашей стране.

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

**ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН А.С. НОСКОВ,
АКАДЕМИК РАН В.И. БУХТИЯРОВ**

«ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ В ОБЛАСТИ КАТАЛИЗАТОРОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

С использованием катализаторов в России производится около 155 млн т/год высокотехнологической химической продукции стоимостью около 8 трлн руб./год, что составляет почти 15% материальной части ВВП России. Большинство катализаторов для процессов нефтепереработки, нефтехимии и химической промышленности находятся под эмбарго и их поставки в Россию прекращены.

На основе фундаментальных исследований ФИЦ «Институт катализа СО РАН» созданы технологические основы для обеспечения импортнезависимости России в области основных катализаторов нефтепереработки. Производство катализаторов риформинга бензиновых фракций в ПАО «НК «Роснефть» базируется на технологии, разработанной в Центре новых химических технологий ФИЦ «Институт катализа СО РАН». Это производство практически полностью позволяет обеспечить такими катализаторами нефтеперерабатывающие заводы ПАО НК «Роснефть» и большинство заводов других нефтяных компаний России. На основе научных разработок ФИЦ «Институт катализа СО РАН» завершается строительство одного из крупнейших катализаторных заводов в г. Омске на ПАО «Газпром нефть» мощностью 23 тыс. тонн/год. Пуск завода в 2024 г. позволит полностью обеспечить потребность нефтеперерабатывающих предприятий России в катализаторах крекинга, гидроочистки и гидрокрекинга.

В ФИЦ «Институт катализа СО РАН» разработаны ключевые титан-магниевые катализаторы полимеризации олефинов (этилена и пропилена) и технологии их производства. В настоящее время ведется создание промышленного производства этих катализаторов с плановым сроком пуска в 2025-2026 гг. Создание этого производства обеспечит отечественными катализаторами практически весь перспективный выпуск в России полиэтилена и полипропилена объемом 10-11 млн т/год.

Завершается выполнение Комплексного научно-технологического проекта «Нефтехимический кластер». Проект включен в Стратегию социально-экономического развития Сибирского федерального округа до 2035 г. (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 26 января 2023 г. № 129-р). Реализация данного проекта обеспечит с 2025 г. отечественными катализаторами одну из крупнейших нефтехимических компаний России АО «Группа компаний «Титан».

Одновременно следует отметить остроту проблемы обеспечения отечественными катализаторами предприятий азотного комплекса России. Это обусловлено длительным периодом практически полной ориентации компаний по производству аммиака и метанола на использование катализаторов зарубежных фирм. Объем производства отечественных промышленных катализаторов для азотной промышленности недостаточен для обеспечения российских заводов, а их показатели в большинстве случаев уступают зарубежным аналогам. По отдельным позициям (катализаторы синтеза метанола) производство в России отсутствует.

Следует отметить, что в ряде институтов Сибирского отделения РАН (ФИЦ «Институт катализа СО РАН») и университетов СФО (Томский госуниверситет) по большинству катализаторов для азотной промышленности разработаны научные заделы, позволяющие создать отечественные технологии синтеза катализаторов, на их основе развернуть производство импортозамещающих российских катализаторов для азотной промышленности.

АКАДЕМИК РАН Н.П. ПОХИЛЕНКО
«РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ
КАК ОСНОВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ»

Производство многих видов сырья для высокотехнологичных отраслей промышленности, включая переходную энергетику, в настоящее время географически более сконцентрировано, нежели производство нефти и газа.

Обеспечение экономики страны редкими и редкоземельными металлами (далее – РМ и РЗМ) носит критический характер для национальной безопасности и является важным условием модернизации промышленности. Без РМ и РЗМ невозможно полноценное внедрение 14 из 27 критических технологий, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 7 июня 2011 г. № 899, в том числе:

- военные и промышленные для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;
- создание электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств;
- силовая электротехника;
- атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с РА-отходами и отработавшим ЯТ;
- информационные, управляющие, навигационные системы;
- наноустройства и микросистемная техника;
- новые и возобновляемые источники энергии, включая водородную энергетику;
- получение и обработка конструкционных наноматериалов;
- создание высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта;
- создание ракетно-космической и транспортной техники нового поколения;
- создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии;
- производство металлов и сплавов со специальными свойствами.

Варианты воссоздания редкоземельной промышленности в России возможны в трех направлениях:

1. Реанимации мощностей по производству РЗМ из лопарита Ловозерского месторождения (Мурманская область).

2. За счет попутного получения РЗМ из Хибинского месторождения апатита, в котором заключено около 60% их балансовых запасов, что требует создания целой отрасли.

3. За счет освоения балансовых месторождений, готовых к эксплуатации, из которых самым богатым является Томтор (участки Буранный, Северный и Южный).

Первые два варианта, несмотря на их очевидную ясность, требуют создания многочисленных цепочек перерабатывающих предприятий, опираясь на реанимацию устаревших и старых технологий и производств, а также организацию новых мощностей, удаленных друг от друга на тысячи километров.

Вариант, базирующийся на источнике сибирского сырья — месторождении Томтор с уникально высокими параметрами содержания в его руде остродефицитных редкометалльных и редкоземельных компонентов, гарантирует реализацию самых смелых стратегических интересов нашей страны. По ресурсам редких и редкоземельных металлов и их концентрациям Томтор является безусловным лидером нашей планеты. В мире такие объекты редки, поэтому Томтор по праву стоит в одном ряду с месторождениями-гигантами. На площади ~ 35 км² располагаются 3 изолированных участка распространения рудного пласта пироклор-монацит-крандаллитовых руд (Северный, Буранный и Южный). Томтор имеет приоритетное значение среди других сырьевых источников, поскольку позволяет обеспечить любые потребности российской промышленности в РЗЭ на обозримый период в широком спектре. В пределах рудного поля можно выделить блоки руды практически с любыми заданными параметрами, как например блок иттрий-скандиевых руд. В пределах Томтора установлены блоки марганцевых руд, а также присутствие в его породах вкраплений самородного золота и платины, что требует доизучения массива на распределение этих компонентов. Кроме того, на территории Уджинского поднятия, поблизости от Томтора, имеются еще четыре практически не изученных массива подобного типа, что значительно повышает перспективы развития сырьевой базы РЗМ региона.

Работы по совершенствованию технологии переработки томторских руд (Кузьмин В.И., 2006-2014 гг.) позволили увеличить количество товарных продуктов до 20, среди которых главную ценность представляют индивидуальные оксиды средних и тяжелых РЗМ, что позволяет говорить о новых возможностях получения широкой линейки РМ и РЗМ из одного сырьевого источника. Уникальность разработанной в ИХХТ СО РАН технологии в том, что в полезную переработку вовлекается 75% компонентов руды, в результате чего нет необходимости ее предварительного обогащения.

Потребление РМ и РЗМ для технологий «чистой» энергетики вырастет как минимум в 4 раза к 2040 году, и особенно высоким будет рост сырья, необходимого для изготовления электромобилей.

Так, по данным агентства Benchmark Mineral Intelligence, в 2022 году мировой спрос на карбонат лития составил 668 тыс. тонн. Установленная в конце марта 2023 года консорциумом ведущих на литиевом рынке компаний минимальная цена за тонну карбоната лития равна 36 380 \$. В 2032 году потребуются добывать уже 2,9 млн тонн карбоната лития, а это больше, чем все его мировое производство за период с 2015 по 2022 годы (2,7 млн тонн). К 2040 году весь литий, добытый в мире в 2022 году составит объем менее месячного спроса, даже если добавить к нему литий, добытый из переработанных батарей. К 2050 году спрос на карбонат лития достигнет уже 11,7 млн тонн, причем 2/3 этого материала будет уходить на нужды накопления энергии, и только менее 1/3 – на обеспечение автомобильной промышленности.

До середины 90-х годов прошлого века литий в мире, включая Россию, добывался из сподумен-пегматитового сырья. Однако начиная с середины 90-х годов на мировом рынке появился новый поставщик дешевого карбоната лития, производимого из рапы соленых озер района Салара-де-Атакама (Чили), который вы-

теснил производителей литиевой продукции, включая Россию, производившую в период до 90-х годов до 20% мирового объема лития и его соединений. Это привело к утрате позиций России на мировом рынке лития и стагнации всего отечественного литиевого промышленного комплекса.

В настоящее время стало очевидным, что российские месторождения сподуменовых пегматитов Центрально-Азиатского складчатого пояса и литиеносные подземные рассолы Сибирской платформы содержат огромные запасы Li и их прогнозных ресурсов категорий P1 и P2 (~ 4,5 млн тонн), сопоставимые с такими для Чили, Аргентины, Боливии и Китая. Эти месторождения, вне сомнения, будут востребованы в связи с переходом на технологии «чистой энергетики» и связанным с этим острым дефицитом лития для производства аккумуляторов, а также стремительно растущими потребностями лития в широком ряде других высокотехнологических отраслей.

В Иркутской области известны Ковыктинское и Знаменское месторождения гидроминерального сырья. Содержание лития и дополнительных компонентов в рассолах этих месторождений значительно превышают их концентрации в традиционном промышленно перерабатываемом сырье. Это единственное место в мире, кроме соленых озер в Чили, где концентрация лития доходит до 0,7 г/дм³. Запасы рассолов в Ангаро-Ленском бассейне могут обеспечить годовой объём производства более 17 000 тонн карбоната лития, что превышает мощность действующих производств по извлечению лития из рассолов озёр в Китае (более 15 000 тонн карбоната лития в год), США (6 000 т в год) и Аргентине (12 000 т в год).

В настоящее время такие компании как «Газпром» и «ИНК» занимаются развитием проектов по добыче лития из промышленных рассолов месторождений Иркутской области. Проводимые в профильных институтах Сибирского отделения РАН исследования, задачей которых является разработка новых методов поиска и изучения рудных и техногенных месторождений лития, а также создание экологически безопасных технологий обогащения и переработки минерального сырья, закладывают научные основы вывода из стагнации производства лития в России.

АКАДЕМИК РАН С.В. ПОПОВ

«КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ»

Обсуждая развитие научно-технологического комплекса страны, важно напомнить про приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации. К ним относятся:

1. Безопасность и противодействие терроризму.
2. Индустрия наносистем.
3. Информационно-телекоммуникационные системы.
4. Науки о жизни.
5. Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники
6. Рациональное природопользование.
7. Транспортные и космические системы.
8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

В нашей стране Указом Президента Российской Федерации от 07.07.2011 г. № 899 выделена группа «Критических технологий» – отраслевые технологии, критически необходимые для производства важнейших видов высокотехнологичной продукции и создания высокотехнологичных сервисов, имеющие системное значение для функционирования экономики, решения социально-экономических задач и обеспечения обороны страны и безопасности государства.

Критическими технологиями для медицины являются:

1. Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии.
2. Биомедицинские и ветеринарные технологии.
3. Геномные, протеомные и постгеномные технологии.
4. Клеточные технологии.
5. Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии.
6. Технологии биоинженерии.
7. Технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний.
8. Другие критические технологии.

Кризис стоимости жизни, природные катастрофы, геэкономическая конфронтация – главные глобальные риски ближайших лет по данным Всемирного экономического форума (ВЭФ). Видимо, комбинация новых рисков со «старыми» будет формировать кризисное десятилетие 2023–2033 гг. У нас закончились слова, чтобы описать происходящее в мире, используется новый термин – поликризис. Поликризис – это ситуация, когда различные риски пересекаются и вся их взаимозависимость ощущается очень остро, поясняют эксперты ВЭФ.

Во-первых, вернулись «старые» риски – инфляции, кризиса стоимости жизни, торговых войн, широкомасштабных социальных волнений, геополитической конфронтации и угрозы ядерной войны. Хотя это риски, с одной стороны, «ста-

рые», но, с другой, настолько «старые», что с ними сталкивались лишь немногие из нынешних политиков и бизнес-лидеров. Добавились относительно новые риски – высокий уровень госдолга, новая эра низкого роста, низких инвестиций и деглобализации, торможение развития человеческого потенциала после десятилетий прогресса, быстрое и неограниченное развитие технологий двойного назначения, растущее давление последствий изменения климата при постоянно сужающемся окне возможностей для смягчения этих изменений.

Потрясения последних лет – в первую очередь пандемия и российско-украинский военный конфликт – отразили и ускорили эпохальное изменение мирового порядка. Риски, которые видятся более серьезными в краткосрочной перспективе, связаны со структурными изменениями в экономическом и геополитическом ландшафте, ускоряющими другие глобальные угрозы – с ними миру придется столкнуться в течение следующих 10 лет, пишут авторы доклада ВЭФ.

Также ухудшаются оценки социальных рисков, в том числе «Серьезного ухудшения психического здоровья», «Разрушения или отсутствия общественной инфраструктуры и услуг» и «Хронических заболеваний и состояния здоровья».

Расширение источников болезней будет сочетаться с растущей тяжестью заболеваний. Ключевым следствием станет рост инвалидности, а не смертности: люди живут дольше, но с плохим здоровьем – достижения медицины позволяют жить с множественными сопутствующими заболеваниями, но лечить их по-прежнему сложно и дорого.

По мере затухания пандемии системы здравоохранения сталкиваются с выгоранием работников и нехваткой кадров на фоне растущего финансового давления – сокращением финансирования и ростом затрат и стоимости рабочей силы, поскольку инфляция продолжается, экономика стагнирует, а правительства перераспределяют расходы в пользу геополитической безопасности. Это снизит качество медицинской помощи и доступ к ней даже в благополучных странах. Геополитическая напряженность может ограничить совместную разработку лекарств и обмен новыми научными достижениями. Любые вспышки заболеваний в течение следующего десятилетия могут поставить истощенные системы здравоохранения во всем мире на грань отказа.

Пока разворачивается поликризис – непрекращающиеся потрясения, – мир стоит на распутье, заключает ВЭФ: действия, предпринимаемые сегодня, будут определять картину будущих рисков. Оборонительные, фрагментарные и ориентированные на текущие проблемы подходы недалекновидны и часто лишь закрепляют порочный круг. Отсутствие готовности к долгосрочным рискам еще больше дестабилизирует глобальный экономический ландшафт, что в итоге приведет к еще более жестким компромиссам для политиков и бизнес-лидеров. Можно выделить четыре основных принципа успешного прохождения «эпохи поликризисов», перечисляет ВЭФ: 1) усиление идентификации рисков и прогнозирования, 2) перекалибровка текущей стоимости «будущих» рисков, 3) инвестирование в противодействие многодоменным рискам, 4) укрепление сотрудничества и кооперации в реагировании на угрозы.

Несколько слов важно сказать о глобальных рисках/вызовах для здравоохранения. К ним эксперты ВЭФ относят:

1. Неравенство систем здравоохранения.
2. Рост инвалидности.

3. Распространение инфекционных заболеваний.
4. Эпидемии.
5. Питание.
6. Отсутствие инвестирования в работников здравоохранения.
7. Безопасность подростков и людей, в целом.
8. Новые технологии.
9. Устойчивость к антибиотикам.

Кроме того, следует отметить некоторые глобальные вызовы медицинской науки:

1. Рассинхронизация аналитической и синтетической науки (большое количество данных).
2. Разрыв между данными РКИ и реальной клинической практикой.
3. Стремление к тотальной цифровизации клинической и научной деятельности.
4. Трансграничность исследований под угрозой.

Приоритетными вопросами являются: психическое здоровье, старение населения, инфекции. К общемировым тематическим кластерам вновь стали относиться клиническая медицина, организация здравоохранения и общественное здоровье. Возможными стратегиями развития следует рассмотреть переход от биомедицинской модели к превентивной, с фокусом на неотложную помощь («неотложная помощь в тот же день» быстрая выписка, фокус на тяжелых больных), цифровой вариант оказания медико-санитарной помощи (удаленный мониторинг).

Ситуация в нашей стране усугубляется тем, что у нас мало собственных данных, у нас нестандартизованные данные и условия их хранения (в т. ч. по мировым стандартам), кроме того, нашей особенностью является закрытость данных, разобщенность кадров, в ряде случаев несоответствие образования мировому уровню.

Что касается особенностей Сибирского федерального округа – экстремальные климатические условия Сибирского региона, низкая плотность населения региона, низкая транспортная доступность и низкая доступность медицинской помощи.

Если уточнять некоторые вопросы по перечисленным вызовам, важным будет напомнить, что для ученых Российской Федерации, особенно в биомедицинской отрасли, в современных условиях беспрецедентных политических, технологических и экономических санкций особенно остро стоят вопросы:

- необходимости достижения ключевой задачи биомедицины - снижения заболеваемости и смертности в стране, в том числе от наиболее социально значимых сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, повышения рождаемости и увеличения продолжительности жизни;
- выживания пациентов после состояний, которые ранее считались терминальным (тяжелые инфаркты миокарда, инсульты, нарушения ритма сердца, политравмы, др.), и запроса на восстановление функций;
- запроса на высокие и критические технологии;
- ориентира на заимствованные технологии и длительного отсутствия ориентира на собственное производство медицинских изделий и высоких технологий для биомедицины в стране в недавнем прошлом;
- необходимости экстренного импортозамещения в области медицины, разработки лекарственных препаратов и медицинских изделий в связи с уходом ряда крупных зарубежных компаний высокотехнологичного сектора медицины с рынка;

- высокой сложности производства оригинальных российских медицинских изделий, лекарственных препаратов и технологий для диагностики и лечения, разрозненности технологических цепочек;
- необходимости быстрого реагирования на запрос рынка;
- необходимости экстренного импортозамещения;
- запроса на персонализацию терапии;

Все эти ключевые вызовы накладываются на региональные особенности в виде экстремальных климатических условий Арктического и Сибирского регионов, низкой транспортной доступности региона, низкой плотности населения, низкой доступности медицинской помощи, этнических особенностей популяции.

Кроме того, на заседании Объединенного ученого совета СО РАН по медицинским наукам представлены некоторые результаты исследовательской деятельности в НИУ СО РАН. Так в НИИ КПССЗ, г. Кемерово разрабатывается технология неразрушающего ультраструктурного анализа элементов системы кровообращения при помощи их заключения в эпоксидную смолу и сканирующей электронной микроскопии в обратно-рассеянных электронах. Получение возможности объективного гистологического анализа элементов системы кровообращения с очагами минерализации и металлическими имплантатами – основная цель разработки с УГТ 4.

На базе НИИ медицинских проблем Севера ФИЦ КНЦ СО РАН разработан биохемилюминесцентный анализатор БЛМ-3607, который предназначен для измерения слабых световых потоков, возникающих в результате био- и хемилюминесцентных реакций. На сегодняшний день с использованием данного оборудования разработан широкий спектр методик, позволяющих определять метаболические показатели клеток иммунной системы (биолюминесцентный анализ) и функциональные параметры фагоцитирующих клеток (хемилюминесцентный анализ). Получено свидетельство Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии об утверждении типа средств измерения. С использованием биохемилюминесцентного анализатора разработаны новые медицинские технологии, защищенные патентами Российской Федерации, которые могут применяться для диагностики нарушения функциональной и метаболической активности клеток иммунной системы, в прогнозе характера течения и исходов иммунопатологических состояний, при персонализированном подборе лекарственных препаратов при лечении иммунопатологических состояний и при оценке противоопухолевой активности иммунных клеток у пациентов с онкологическими заболеваниями, УГТ 5.

С целью оптимизации диагностики тяжелой внебольничной пневмонии с помощью нового полуколичественного экспресс-теста на прокальцитонин, выполняются разработки НИИ терапии и профилактической медицины – филиал ФИЦ ИЦиГ СО РАН. Установлена диагностическая значимость нового экспресс-теста на прокальцитонин (значения ≥ 2 нг/мл) в определении тяжелой внебольничной пневмонии, УГТ 6.

В НИИ фармакологии и регенеративной медицины им. академика Е.Д. Гольдберга ТНИМЦ разработан инновационный анальгетик на основе гексаазаизовюрцитана «Тиовюрцин, капсулы 120 мг» для лечения болевого синдрома различ-

ной этиологии. Препарат представляет собой мультитаргетный ненаркотический анальгетик, действующий на центральную и периферическую нервную систему, не вызывает привыкания и зависимости, является альтернативой опиатам, УГТ 6.

В НИИ психического здоровья ТНИМЦ получены приоритетные данные по влиянию Галодифа на ГАМКА-бензодиазепиновые рецепторы головного мозга крыс в эксперименте и тромбоциты крови больных алкоголизмом с последующим эффектом снижения потребления алкоголя, УГТ5.

ДНК-зонды для молекулярной диагностики хромосомных болезней разрабатывают в НИИ медицинской генетики Томского НИМЦ. Создана молодежная лаборатория инструментальной геномики. Разработана технология производства ДНК-зондов на отдельные регионы генома. Предложены уникальные технические решения по ускорению производства ДНК-зондов, подана заявка на патент «Способ получения панели ДНК-зондов для определения хромосомных транслокаций, делеций и амплификаций», УГТ 3.

В НИИ клинической и экспериментальной лимфологии разработан и запатентован метод выделения клеточных популяций из стромальных лентикул роговиц человека, полученных в ходе выполнения операции ReLEx SMILE. Установлено, что культивируемые стромальные клетки обладают высоким функциональным потенциалом, в т.ч. продукцией белков внеклеточного матрикса, УГТ 4. Кроме того, в этом НИИ идет разработка и проведение доклинических испытаний новых персонализированных генетически модифицированных противоопухолевых цитотоксических Т-клеток, УГТ 3.

Новые технологии анализа и прогнозирования гликемии УГТ 4, информационная система диагностики синдрома поликистозных яичников УГТ 3, программно-аппаратный комплекс для выявления туберкулезных и нетуберкулезных микобактерий и оценки значимости мутаций в автоматическом режиме при секвенировании ДНК возбудителя туберкулеза, УГТ 3 – разрабатываются в Научном центре проблем здоровья семьи и репродукции человека, г. Иркутск.

Разработками и внедрением медицинских изделий для лечения сердечно-сосудистых заболеваний занимаются в НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина, НИИ КПССЗ, г. Кемерово и НИИ кардиологии ТНИМЦ. Разработан кондуит «Бетти» для протезирования легочной артерии в детской кардиохирургии, опытный образец биопротеза митрального клапана, опытный образец аортального клапана, биодegradуемые сосудистые протезы малого диаметра, интегрированная система неинвазивного электрофизиологического и инвазивного трехмерного электроанатомического картирования, электроды «КАРДИОПЭЙС» и «ЭВЕРЕСТ», предназначенные для временной электрокардиостимуляции и регистрации сердечных потенциалов в интраоперационном и раннем послеоперационном периоде у пациентов, подвергающихся вмешательству на открытом сердце. Кроме того, в числе разработок надо отметить аппаратно-программный комплекс доставки и обеспечения технологий органопротекции оксидом азота при респираторных инфекциях.

Консорциумом Genetic Research for New Oncology, в составе НИИ онкологии, трех университетов (СибГМУ, ТГУ и БГМУ) и 3 НИИ впервые разработан генотерапевтический препарат на основе микроРНК, таргетированных к генам стволовости, инкапсулированных в липосомы, который показал высокую противоме-

тастатическую активность на модели спонтанного метастазирования у мышей и образования опухолевых узлов у ксенографтов. Препарат сейчас проходит доклинические токсикологические исследования.

Результаты специфической противометастатической активности препарата показывают перспективность его дальнейшего исследования и вывод на I фазу клинических испытаний. Препарат имеет потенциал стать первым в новой линейке препаратов, направленных на предотвращение метастазирования опухолей – основной причины смерти онкологических больных.

Институты Томского НИМЦ уже 30 лет плодотворно сотрудничают с ТПУ в области разработки радиофармпрепаратов для ядерной медицины. Результатом такого сотрудничества стало создание НИЦ «Онкотераностика» при финансовой поддержке Мегагранта. Благодаря тесному взаимодействию с российскими и зарубежными НИИ и вузами, промышленными партнерами мы обладаем всеми компетенциями для создания РФЛП:

1. Получение радиоактивных изотопов.
2. Разработка молекул адресной доставки.
3. Разработка РФЛП.
4. Разработка методов контроля качества РФЛП.
5. Доклинические испытания РФЛП.
6. Клинические испытания РФЛП.
7. Производство РФЛП.

Разработка новых медицинских технологий клинического применения РФЛП. Об успехе такого сотрудничества свидетельствует регистрация и организация производства генераторов технеция, а также ряда радиофармпрепаратов для диагностики и лечения злокачественных новообразований. Несколько оригинальных тераностических соединений находится на стадии доклинических и клинических испытаний.

Важную и с высоким УГТ 7 на текущий момент времени разрабатывают в НИИ онкологии Томского НИМЦ - разработка индивидуальных имплантатов из фторполимера с регулируемой пористостью и внутренней архитектурой с целью устранения дефектов челюстно-лицевой области у онкологических больных.

Таким образом, на основе представленных результатов и наиболее успешных практик следует признать высокий уровень компетенции НИУ медицинского профиля СО РАН и готовность преодолевать ожидаемый поликризис, а именно:

- разработка технологий, обеспечивающих биомедицинскую безопасность Азиатских территорий России;
- разработка технологий идентификации и исследование высокопатогенных вирусов, включая вирусы зоогенного происхождения, а также путей их распространения и методов борьбы с вирусными заболеваниями;
- разработка лекарственных средств, методов и технологий борьбы со специфическими для Азиатской части России орфанными и редкими заболеваниями;
- разработка современных генетических и нейрофизиологических методов исследования социально-значимых заболеваний и путей профилактики и борьбы с этими заболеваниями;

- разработка и производство фармацевтических средств и специальной медицинской техники для защиты и оказания помощи военнослужащим непосредственно в зонах боевых действий.

По результатам дискуссии определена потребность в создании единого непрерывного технологического процесса по планированию, реализации и выпуску высоких технологий и высокотехнологичного продукта в области биомедицины, фармацевтики, производства расходных материалов и медицинского приборостроения с учетом специфики вывода продуктов на рынок через клинические исследования и клинические испытания. В качестве ключевых барьеров определен разрыв технологических цепочек на этапе создания биомедицинского продукта, ориентир на краткосрочные проекты (2-3 летние), недостаточные для разработки и вывода продукта *de novo* на рынок с быстрым распадом коллективов, дефицит производственных площадок в области биомедицины в России, износ инфраструктуры клиник медицинских научных организаций, наличие дублирующих технологических цепочек на этапах создания продуктов, отсутствие единых индикаторов реализации технологических и инновационных проектов в стране.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН А.П. НЕМУДРЫЙ

«ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ГОРНОРУДНОГО И ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО ЛИТИЕВОГО СЫРЬЯ»

В последнее время в мире наблюдается стремительный рост потребности в литии, связанный с его использованием в литий-ионных аккумуляторах, которые все шире применяются в распределенной энергетике, в том числе транспорте. Это ставит перед страной задачи по импортонезависимости и технологическому суверенитету; поиску и освоению новых минерально-сырьевых ресурсов для производства соединений лития, созданию новых конкурентноспособных технологий по извлечению лития из отечественного сырья.

История развития литиевого производства в России и использования лития тесно связана с историей Института химии твердого тела и механохимии (ИХТТМ) СО РАН. Эта тематика уже около 80 лет остается одним из основных направлений Института. В 50-х годах д.т.н. И.С. Лилеевым был разработан известковый способ переработки сподуменового концентрата с получением моногидрата гидроокиси лития. Технология была освоена на Красноярском химико-металлургическом заводе (ОАО КХМЗ), который поставлял продукт на Новосибирский завод химических концентратов (ОАО НЗХК), где производили металлический литий батарейного качества и его соединения. За разработку комплексной технологии переработки сподуменовых концентратов коллектив авторов во главе с д.т.н. И.С. Лилеевым был удостоен Сталинской премии.

Однако разработка рудных месторождений требует больших капитальных вложений из-за ее высокой энерго- и материалоемкости, затрат на экологические мероприятия. Освоение рассолов хлоридно-натриевого типа в Литиевом треугольнике (Аргентина, Боливия и Чили) позволило существенно понизить затраты на производство лития. Потребность России в импортонезависимости по литию вызывает интерес к технологиям по извлечению лития из гидроминерального сырья, запасы которого в виде пластовых вод нефтяных месторождений, континентальных подземных вод, геотермальных рассолов в стране достаточно велики. Проблемой их использование является высокое содержание кальция и магния, что при переработке приводит к неизбежному высаливанию солей типа: $\text{LiCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{LiCl} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ при любых способах концентрирования. Таким образом, вовлечение гидроминерального сырья хлоридно-кальциевого и/или магниевого типа в процессы получения лития возможно только при его концентрировании путем селективной сорбции или экстракции.

В ИХТТМ СО РАН в конце 80-х были проведены фундаментальные работы по изучению процессов взаимодействия кристаллической гидроокиси алюминия (гидрагиллит) с растворами солей лития [1-5]. Было показано, что взаимодействие

происходит за счет селективной интеркаляции солей лития между алюмогидроксидными слоями гидрагиллита. Образующийся при этом продукт – анионные производные двойного гидроксида алюминия и лития (ДГАЛ -An), имеет область гомогенности по литию и способен претерпевать циклы интеркаляции-деинтеркаляции, при этом реакционная способность алюмогидроксидной матрицы к процессам селективной сорбции резко возрастает. Под руководством д.х.н. Н.П. Коцупало на основе ДГАЛ-С1 был разработан селективный сорбент выделения лития из высокоминерализованных литееносных рассолов хлоридно кальциевого и/или магниевоего типа. Изучены технологии дальнейшего концентрирования растворов, обогащенных по ДГАЛ-С1, в том числе путем электродиализного концентрирования. В Институте было создано опытное производство для апробирования в укрупненных условиях переработки природных рассолов, самоизливающихся в карьер трубки «Удачная», Якутия. В результате работ был разработан технологический регламент, в ходе опытно-промышленных испытаний получен вторичный литиевый концентрат - продуктивный раствор хлорида лития, содержащий 175 г/л LiCl, из которого осаждали карбонат лития. Испытания показали воспроизводимость сорбционного процесса и возможность получения литиевых продуктов. Таким образом, было показано, что источниками сырья для новой технологии могут быть различные месторождения гидроминерального сырья России.

Научные разработки легли в основу технологии сорбционного обогащения, разработанной ЗАО «Экостар-Наутех» (д.х.н. Н.П. Коцупало, д.т.н. А.Д. Рябцев [6]). В 2004 году прошли успешные испытания китайской компанией высокоселективного сорбента ДГАЛ-С1 на китайских рассолах. В дальнейшем этот процесс был промышленно освоен для получения карбоната лития из рассолов оз. Дабсан-Нур (провинция Цинхай, КНР). Предприятие функционирует с 2012 года и выпускает около 10 тысяч тонн карбоната лития в год.

Заключение

Россия обладает достаточными ресурсами, как горнорудного, так и гидроминерального сырья для обеспечения потребности страны в литии.

В стране разработаны технологии и новые перспективные способы извлечения лития из сподуменового концентрата.

Сорбция лития из кальциево-магниевых рассолов с помощью ДГАЛ-С1 является одним из самых эффективных способов извлечения лития с учетом экологических издержек.

Литература

1. Немудрый А.П., Исупов В.П., Коцупало Н.П. Болдырев В.В. Взаимодействие кристаллического гидроксида алюминия с водными растворами солей лития. 1. Исследование продукта взаимодействия гидрагиллита с водными растворами хлорида лития. Изв. СО АН СССР, 1984, сер.хим.наук, N11, вып.4. С. 28-32.

2. Немудрый А.П., Исупов В.П., Коцупало Н.П., Болдырев В.В. Взаимодействие кристаллического гидроксида алюминия с водными растворами солей ли-

тия. 2. К вопросу о механизме взаимодействия гидрагиллита с водными растворами хлорида лития. Изв. СО АН СССР, 1984, сер.хим.наук, вып.5. С. 47-51.

3. Nemudry A.P., Isupov V.P., Kotsupalo N.P., Boldyrev V.V. Reaction of crystalline aluminium hydroxide with aqueous solutions of lithium salts. Reactivity of Solids. 1986. v.1. P. 221-226.

4. Немудрый А.П., Исупов В.П., Коцупало Н.П., Болдырев В.В. Взаимодействие кристаллического гидроксида алюминия с водными растворами солей лития. 4. Разупорядочение алюмогидроксидных слоёв в интеркаляционных соединениях на основе гидрагиллита. Изв. СО АН СССР, 1987, сер.хим. наук, вып.6. С. 111-114.

5. Nemudry A.P. Influence of stresses arising on intercalation of lithium salts into gibbsite on the reaction progress. Reactivity of solids, 1987, v.3.P. 317-327.

6. Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев. Химия и технология получения соединений лития из литиеносного гидроминерального сырья. Академическое издательство «Гео», 291 с.

**АКАДЕМИК РАН О.Л. БАРБАРАШ,
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК Е.А. ОВЧАРЕНКО,
КАНДИДАТ МЕДИЦИНСКИХ НАУК К.Ю. КЛЫШНИКОВ,
ДОКТОР БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК Ю.А. КУДРЯВЦЕВА,**

АКАДЕМИК РАН Л.С. БАРБАРАШ

«БИОПРОТЕЗЫ КЛАПАНОВ СЕРДЦА. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»

Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний – лидер в области разработки и применения биопротезов клапанов сердца России. 40-летний опыт коллектива ученых и врачей различных специальностей реализовался несколькими поколениями изделий медицинского назначения для сердечно-сосудистой хирургии, используемых в большинстве клиник России. Среди разработанных изделий следует выделить модификацию биопротеза «ЮниЛайн», адаптированную для аортальной позиции, и уникальный полукаркасный протез «Ти-Ара». Показатели выживаемости и отсутствия реопераций при использовании этих протезов сопоставимы с аналогичными результатами зарубежных протезов.

В Учреждении ведется активная научная деятельность, направленная на разработку новых типов протезов и методов лечения. Среди текущих проектов – создание полимерных протезов клапанов сердца со створчатым аппаратом лепесткового типа и системы хирургического бесшовного репротезирования по методу «протез-в-протез». Оба проекта находятся на стадии разработки, при этом демонстрируют значительный потенциал, открывая перспективы для решения проблем биопротезирования, обеспечивая высокую биосовместимость, биостабильность и адекватные механические характеристики устройств.

Успех Научно-исследовательского института в значительной степени обусловлен тесным взаимодействием научных, клинических и производственных подразделений, благодаря чему оказывается возможным быстро внедрять новые медицинские изделия в клиническую практику. Совместная работа этих подразделений и структур обеспечивает непрерывный цикл инноваций: научные исследования превращаются в инженерные разработки, которые затем выходят в производство и внедряются в клинику, давая новые научные знания для дальнейших разработок.

Исторические аспекты биопротезирования клапанов сердца в Кузбасском кардиологическом центре

Эволюция биологических протезов клапанов сердца прошла более чем полувековой путь. Когда первые попытки протезирования клапанов гетеротрансплантатами аортального комплекса свиньи, выполненные в 1965-1967 гг. командой

хирургов под руководством Алена Карпентье, показали неудовлетворительные результаты, был начат поиск способов защиты биоматериала от разрушения в организме реципиента [1]. Создание полноценных клапанных биопротезов стало возможным благодаря предложенному А. Карпентье методу консервации биологических тканей глутаровым альдегидом [2].

На пороге 70-х годов в рамках программы Государственного комитета СССР по науке и технике были начаты разработки отечественных моделей биопротезов клапанов сердца. Лидерами в этом направлении стали три крупных центра сердечно-сосудистой хирургии: Институт сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева АМН СССР (ныне Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева), Всесоюзный научный центр хирургии АМН СССР (ныне Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского) и кардиохирургическое отделение Кемеровской областной клинической больницы №1 (ныне Научно-исследовательского института комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний – НИИ КПССЗ). До 90-х годов отечественные разработки шли параллельно мировым, причём методы консервации биоматериала были основаны на применении растворов глутарового альдегида [3].

В 1978 году на базе кардиохирургического отделения Кемеровской областной клинической больницы №1 Л.С. Барбараш выполнил первую успешную имплантацию глутарообработанного ксеноаортального биопротеза, смоделированного по методу Ионеску на жестком титановом каркасе. Долговечность этого имплантата составила 20 лет. Благодаря успешным результатам имплантаций в 1982 году в Кемерово была создана лаборатория по производству биопротезов, первой разработкой которой стали клапаны «Биопакс-1». Последние имплантировали пациентам вплоть до 1991 года.

В 1991 году кемеровскими учёными под руководством Л.С. Барбараш разработан оригинальный способ консервации биологических тканей, основанный на её обработке диглицидиловым эфиром этиленгликоля [3]. Консервация биоматериала указанным соединением продемонстрировала весомые преимущества перед обработкой глутаровым альдегидом, состоящие в значительном снижении кальцификации клапанов и улучшении биомеханических свойств створчатого аппарата [3]. Данная технология открыла путь для разработки уникального типа биопротезов, консервированных эпоксисоединениями. В настоящее время такие протезы производят только в Российской Федерации.

Эпоксидообработанные биопротезы клапанов сердца на базе Учреждения

«КемКор»

Исторически первым эпоксиобработанным биопротезом клапана сердца, который был разработан в НИИ КПССЗ, стал протез «КемКор» (1991 год). Эта модель представляет собой ксеноаортальный биопротез на основе полужесткого асимметричного полипропиленового каркаса, обшитого синтетической тканью. «КемКор» был предназначен для имплантации в атриовентрикулярные позиции и применялся в клинике выдающиеся 15 лет – с 1991 г. по 2006 г. Основная идея использования ксеноартальных комплексов как основы створчатого аппарата рассматриваемой модели состояла в имитации анатомии и функции человеческого

клапана с целью приближения гемодинамических характеристик биопротеза к таковым естественных клапанов.

По результатам клинических исследований реципиентов «КемКор» (средний возраст 47 лет) отмечена статистически значимая тенденция к снижению летальности с 16% в 1995-м году до 2% к 2007-му году. В отдаленном периоде актуарный показатель выживаемости в общей группе составил 54% к 24-му году наблюдения, показатель реопераций и отсутствия дисфункций не имел существенных различий и составил 45% к 24-му году наблюдения [4,5].

«ПериКор»

В 2021 году на смену биопротезу «КемКор» пришла переработанная модель «ПериКор». Дизайн клапана соответствовал современному дизайну зарубежных протезов второго поколения (например, «Hancock II», Medtronic Inc, США): створчатый аппарат был смоделирован из элементов нескольких свиных аортальных комплексов, также в составе биопротеза полностью отсутствовала синтетическая ткань. Всего, за период с 2001 г. по 2009 г. с применением протеза «ПериКор» только в Кемерово было оперировано 130 пациентов (средний возраст 54 года). Госпитальная летальность при первичном вмешательстве не превысила 1,5%. Актуарный показатель выживаемости к 17-му году наблюдения составил 59%, а отсутствия реопераций – 48%. При этом госпитальная летальность при повторных вмешательствах достигала 10% с достоверным снижением показателя после 2010 года [4,5].

«ЮниЛайн»

Кардинально новое поколение биопротезов клапанов сердца кемеровского производства разработано в 2008 году. Ознаменовав начало «эры» отечественных ксеноперикардальных протезов, в клиническую практику поступила модель «ЮниЛайн». Более технологичные и устойчивые к кальцификации биопротезы на основе перикардального лоскута получили значительно большее распространение и продемонстрировали лучшие клинические результаты. Конструктивно протез «ЮниЛайн» представляет собой композитный каркас из полипропилена и проволоочного контура из никелида титана, обеспечивающих высокую подвижность стоек биопротеза, что позволяет демпфировать гидродинамические удары. Дизайн этого протеза полностью соответствует концепции зарубежных биопротезов третьего поколения (например, «Perimount», Edwards Lifesciences, США) и наследует идею использования ксеноперикарда как материала створок. Впервые была применена технология лазерного раскроя ксеноперикарда в сочетании с автоматизированным методом картирования по толщине, что позволило добиться однородности биоматериала [6,7].

В 2011 году была разработана модификация биопротеза «ЮниЛайн», предназначенная для аортальной позиции. Дизайн биопротеза был существенно переработан с учётом анатомии и биомеханики корня аорты: для улучшения гидродинамических показателей увеличена высота стоек, изменен метод отливки каркаса с прямым наклоном стоек, также адаптирован дизайн приточной части и манжеты для возможности интра- и супрааннулярной имплантации.

В сравнении с современными зарубежными моделями заменителей клапанов сердца протез «ЮниЛайн» показал сопоставимые результаты по выживаемости

и отсутствию дисфункций. Среди причин госпитальной летальности не было отмечено ни одного протез-обусловленного события. Показатели выживаемости и отсутствия реопераций при изолированной коррекции порока митрального клапана составили 59 и 79% к 10-му году, соответственно. При изолированной коррекции порока аортального клапана данные показатели достигали 89 и 96% к 8-му году наблюдения.

Опыт применения протеза «ЮниЛайн» при замене трикуспидального клапана преимущественно у пациентов с инфекционным эндокардитом показал отсутствие летальных исходов на госпитальном этапе и выживаемость почти 77% к 8 году наблюдения. Актуарный показатель отсутствия повторных вмешательств составил 90%. Мультицентровые исследования применения биопротезов «ЮниЛайн» при пороке митрального и аортального клапана, проведенные НИИ КПССЗ совместно с кардиохирургическими центрами в Новосибирске, Екатеринбурге и Белгороде, также демонстрировали высокие показатели выживаемости и свободы от реопераций: при хирургической коррекции изолированного порока митрального клапана госпитальная летальность составила 6%, актуарный показатель выживаемости – 96% к 8-му году наблюдения. При изолированном пороке клапана аорты госпитальная летальность достигала 3,5%, актуарный показатель выживаемости – 96% к 6-му году наблюдения.

Анализ клинических результатов эпоксиобработанных биопротезов («Кем-Кор», «ПериКор» и «ЮниЛайн») в сравнительном аспекте показал статистически значимые различия в пользу более совершенных моделей по актуарным показателям «общей выживаемости», «свободы от реопераций», «свободы от дисфункций» в шестилетнем периоде наблюдений, что в целом сопоставимо с аналогичными результатами зарубежных протезов.

«ТиАра»

Помимо «классических» каркасных биопротезов клапанов сердца в НИИ КПССЗ разработан уникальный полукаркасный протез – «ТиАра» [8]. Устройство выполнено из ксеноперикарда и имеет в своей конструкции тонкую проволоку из никелида титана, позволяющую имплантировать протез однорядным обвивным швом в супрааннулярную, либо субкоронарную позицию. Проволочный контур обеспечивает подвижность стоек и снижает протяженность зоны высокого напряжения – предиктора дегенерации биоткани. Клинический опыт демонстрирует состоятельность полукаркасной конструкции для лечения аортального порока сердца у больных пожилого и старческого возраста.

Текущие разработки и перспективы

В среднем в клиническую практику каждые четыре года внедряется новое медицинское изделие, разработанное на базе НИИ КПССЗ. А обеспечена такая прикладная трансляция благодаря тесному взаимодействию с производственной площадкой – ЗАО «НеоКор», на базе которой и производят данные биопротезы. Компания сотрудничает более чем с семьюдесятью контрагентами, включая организации стран ближнего и дальнего зарубежья. Всего за период с 1993 г. по 2018 г. реализовано более 60 тысяч единиц продукции.

Тесное взаимодействие научных, клинических и производственных подразделений реализует концепцию «замкнутого цикла», обеспечивая синергический эффект накопления опыта и знаний в четырех основных областях, связанных с разработкой новых медицинских изделий: науки, инжиниринга, клиники и производства. Научные изыскания воплощаются в конкретные инженерные разработки и научно-технические решения с использованием передовых инструментов анализа: численного моделирования и цифрового проектирования. Полученные таким образом медицинские изделия затем выходят в производство и клинику, а их изучение с позиции клинической эффективности дает новые научные знания, которые конвертируются в новые прикладные разработки. Применение подхода «замкнутого цикла» позволило войти проектам НИИ КПССЗ в программу национального проекта «Наука»: Кемеровская область вошла в первую пятерку регионов, где в 2019 году созданы Научно-образовательные центры («НОЦ»).

Используемые сегодня в клинической практике медицинские изделия не могут всецело решить проблему кардиоваскулярного биопротезирования, поэтому в настоящее время на базе НИИ КПССЗ ведётся разработка новых проектов. Мы полагаем, что создание полимерных протез клапанов сердца со створчатым аппаратом лепесткового типа может стать перспективным решением проблем биопротезирования за счёт использования инновационных полимеров, обладающих высокой биосовместимостью и биостабильностью, адекватными механическими характеристиками. Несмотря на то, что проект находится на стадии разработки, первичные результаты продемонстрировали перспективность подобного подхода.

Заключение

Опираясь на данные по средней долговечности биопротезов, мы понимаем востребованность открытых хирургических реопераций дисфункциональных клапанов. С этой целью на базе НИИ КПССЗ разрабатывают систему хирургического бесшовного репротезирования по методу «протез-в-протез». Данная система позволяет добиться меньшего объема инвазивности реоперации благодаря использованию устройства для бесшовной имплантации, возможности министернотомии, а также отсутствию необходимости иссечения ранее имплантированного каркаса (экономия времени и снижение травматизации фиброзного кольца). Проект находится на стадии подготовки к регистрации, проведенный хронический эксперимент на модели овцы при двухэтапной имплантации показал эффективность данного подхода. По результатам тестирования биопротез обеспечил гидродинамическую эффективность, сопоставимую с показателями ранее имплантированного медицинского устройства.

Литература

1. Carpentier A., Lemaigre G., Robert L., Carpentier S., Dubost C., Gerbode F. Biological factors affecting long-term results of valvular heterografts. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 1969; 58(4): 467–483. doi:10.1016/S0022-5223(19)42561-0

2. Carpentier A., Deloche A., Relland J., Fabiani J.N., Forman J., Camilleri J.P., Soyer R., Dubost C., Malm J.R. Six-year follow-up of glutaraldehyde-preserved heterografts. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 1974; 68(5): 771–782. doi:10.1016/S0022-5223(19)41639-5

3. Барбараш Л.С., Журавлева И.Ю. Эволюция биопротезов клапанов сердца: достижения и проблемы двух десятилетий. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2012; 1: 4–11.

4. Одаренко Ю.Н., Рутковская Н.В., Рогулина Н.В., Стасев А.Н., Кокорин С.Г., Каган Е.С., Барбараш Л.С. Анализ 23-летнего опыта использования ксеноаортальных эпоксиобработанных биопротезов в хирургии митральных пороков сердца. Исследование факторов реципиента с позиций влияния на развитие кальциевой дегенерации. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2015; (4): 17–25. doi:10.17802/2306-1278-2015-4-17-25

5. Рогулина Н.В., Одаренко Ю.Н., Журавлева И.Ю., Барбараш Л.С. Отдаленные результаты применения механических и биологических протезов у пациентов различных возрастов. *Медицина и образование в Сибири*. 2014; (3): 47.

6. Майоров А.П., Тарасов В.М., Гончаренко А.М., Глушкова Т.В., Бураго А.Ю. Лазерный раскрой элементов кардиоваскулярных протезов. *Альманах клинической медицины*. 2008; 17(2): 115.

7. Барбараш Л.С., Глушкова Т.В., Майоров А.П., Бураго А.Ю., Тарасов В.М., Гончаренко А.М., Журавлева И.Ю. Возможности использования лазерных технологий в производстве кардиоваскулярных биопротезов. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2010; 30(5): 35–39.

8. Евтушенко А.В., Стасев А.Н., Кокорин С.Г., Сотников А.В., Двадцатов И.В., Барбараш Л.С. Первый клинический опыт изолированного применения ксеноперикардального полукаркасного биопротеза нового поколения ТиАра. *Клиническая и экспериментальная хирургия*. 2021; 9(2): 14–20. doi:10.33029/2308-1198-2021-9-2-14-20

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Н.Н. ЗЕЗИН «НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА»

Сельское хозяйство является одним из флагманов экономики Российской Федерации, а Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2025 гг. направлена на повышение эффективности отечественного агропромышленного производства, сохранение продовольственной независимости России и обеспечение конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции. Поставленные задачи предполагается решать путем модернизации отрасли: широкого внедрения в первую очередь отечественных эффективных инновационных разработок.

Научное обеспечение эффективного развития агропромышленного комплекса Урала отличается структурой задач, связанных с деятельностью человека, обусловленных разнообразием почвенно-климатических условий.

Одним из ведущих научных учреждений на Урале является ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», которое осуществляет комплексное научное обеспечение и сопровождение сельскохозяйственного товаропроизводителя в различных экологических зонах – Зауралье, Южный и Средний Урал по животноводству, ветеринарии, земледелию и растениеводству. Цель деятельности Центра - проведение фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ, внедрение достижений науки и передового опыта, направленных на получение новых знаний в сфере агропромышленного комплекса, способствующих его технологическому, экономическому и социальному развитию.

В Российской Федерации рейтинг сельскохозяйственных организаций Свердловской области по объему производства продукции достаточно высок. По производству яйца сельхозтоваропроизводители Свердловской области находятся на 3 месте, картофеля – 8, молока – 8, мяса скота и птицы – 19, овощей – 26, а в Уральском регионе занимают лидирующие позиции.

По результатам мониторинга распространения антибиотикорезистентности на предприятиях АПК Свердловской области учеными ФГБНУ УрФАНИЦ составлены паспорта и карта резистентности, прогнозирование эффективности антибиотиков. Изучены механизмы распространения агентов резистентности, генетических детерминант и устойчивых изолятов-носителей ARG по технологи-

ческим цепочкам между хозяйственными участками молочных ферм. Наиболее контаминированными резистентными изолятами объектами на животноводческих фермах являются подстилка и поверхности ограждений, поилок, кормового стола, с которыми животные имеют тесный контакт. Наиболее часто XDR-изоляты *Staphylococcus* spp., *E. coli*, *Streptococcus* spp., *Enterobacter* spp., *P. aeruginosa* и др., нечувствительные к 4 и более классам антибиотиков, обнаруживали в пробах подстилки на разных технологических участках ферм. Данный факт указывает на высокий риск контаминации организма животных резистентными бактериями и последующего развития инфекционного процесса.

Получены новые знания о распространении и циркуляции возбудителей инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных на территории УрФО, новые данные о молекулярно-генетических свойствах различных географических вариантов вируса лейкоза крупного рогатого скота (BLV), новые данные о циркуляции полевых штаммов гриппа птиц в вакцинированных стадах. Изучены возможности применения компонентов для разработки тест-систем для диагностики возбудителей BLV и BVDV с применением генетического материала изолятов, циркулирующих в животноводческих предприятиях на территории УрФО. Проведен анализ эффективности вакцин для профилактики и оздоровления популяций крупного рогатого скота от заболеваний, обусловленных бактериями рода *Clostridium*, с учётом молекулярно-генетических характеристик доминирующих в регионе видов возбудителей клостридиоза, анализ эффективности применения инактивированных иммунобиологических препаратов для обеспечения биологической защиты промышленного поголовья сельскохозяйственной птицы от полевых штаммов гриппа птиц.

В рамках реализации гранта РНФ разрабатывается система генного редактирования для получения сельскохозяйственных животных с улучшенными признаками. Средняя выживаемость бластоцист после редактирования генома увеличилась на 68%, эффективность редактирования повысилась в 2,3 (ген BLG) и 2,5 (ген CD209) раза.

Впервые изучено аллельное разнообразие полиморфизмов генов *Lep*, *iNOS*, *BoLA DRB3* в популяции крупного рогатого скота Уральского региона, проверка на неравновесное сцепление и наличие гаплотипов в популяции. Проведены ассоциативные тесты ДНК-маркеров с развитием кетоза, уровнем устойчивости и восприимчивости к лейкозу по биохимическим и физиологическим показателям животных. Определены консервативные участки генома вируса лейкоза крупного рогатого скота, для дальнейшей разработки тест-системы для оценки провирусной нагрузки. Впервые разработаны тест системы для детекции голштинских гаплотипов 3, 6, 7 в режиме реального времени.

Разработана и внедрена схема оздоровления от лейкоза крупного рогатого скота в животноводческих сельскохозяйственных организациях в зависимости от уровня инфицированности поголовья. Предотвращена ежегодная преждевременная выбраковка 1,5-2 тыс. высокопродуктивных коров и 3-6 тыс. телок, выращенных для воспроизводства стада крупного рогатого скота, что свидетельствует об экономической эффективности проведенной работы. В Свердловской области серологическим контролем охвачено все поголовье крупного рогатого скота области, средняя инфицированность животных за последние 4 года составляет - 0,043%.

Совместно с Институтом органического синтеза им. И.Я. Постовского УРО РАН ведутся исследования, в которых разработаны нанокompозитные глицеролаты, применяемые в качестве основы для создания фармацевтических композиций с целью сдерживания антибиотикорезистентности при лечении воспалительных заболеваний молочной железы коров.

Отдел животноводства и иммуногенетической экспертизы Уральского НИИСХ по определению достоверности происхождения крупного рогатого скота работает с 47 хозяйствами Свердловской, Челябинской, Курганской областей, Пермского края, Удмуртии. Впервые в Уральском регионе на животных голштинской породы проведены исследования по определению полиморфизма гена β -казеина; установлены комплексные генотипы по генам соматотропина и двух локусов гена лептина (полиморфизмы R25C, A80V). Проведена оценка молочной продуктивности животных в зависимости от полиморфизма изучаемых генов. Впервые в Уральском регионе изучены параметры показателей экстерьера крупного рогатого скота в разрезе градаций по степени инбридинга животных. С целью повышения эффективности популяризации и масштабирования результатов исследований по животноводству и ветеринарии ФГБНУ УрФАНИЦ Уро РАН совместно с Региональным селекционно-семеноводческим центром АО «Уралплементр» при поддержке Министерства агропромышленного комплекса и потребительского рынка Свердловской области проведен 65-й Координационно методический совет по совершенствованию крупного рогатого скота молочного направления Урала.

Формирование технологического суверенитета региона с решением продовольственной безопасности в сфере растениеводства и развития отрасли животноводства неотделимо от решения основных проблем земледелия во взаимосвязи с климатическими условиями регионов, к которым относятся:

- деградация почв (интенсивная минерализация органического вещества, эрозия, разрушение структуры, переуплотнение, опустынивание и др.);
- несоблюдение научно обоснованных севооборотов;
- аридизация климата;
- нерациональное использование почвенно-климатического потенциала;
- нестабильная продуктивность сельскохозяйственных культур;
- высокзатратные технологии возделывания сельскохозяйственных культур;
- низкое качество и высокая себестоимость продукции.

Удмуртским НИИ сельского хозяйства – филиал УдмФИЦ Уро РАН разработана и внедряется «Улучшенная комбинированная система зяблевой обработки дерново подзолистой почвы с использованием биоресурсов», которая позволяет поддерживать баланс нитрифицирующей и целлюлозолитической активности почвы, увеличить запасы продуктивной влаги, снизить распыление и переуплотнение почвы, удерживать засоренность посевов на уровне ежегодной вспашки и, как следствие, получить продуктивность культур зернопаротравяного севоборота 2,65-2,83 т з.ед./га.

Для условий Зауралья и Среднего Урала ФГБНУ УрФАНИЦ Уро РАН обобщены продуктивность зерновых культур в зависимости от систем обработки почвы и условий природных зон Курганской области в зависимости от системы обработки почвы на фоне средств химизации. Получены новые знания по системам адаптив-

но-ландшафтного земледелия для Уральского региона. Обобщен экспериментальный материал многолетних стационарных опытов по использованию элементов биологизации в севооборотах. Получены экспериментальные данные по режимам влажности и азотного питания почвы под культурами полевых севооборотов, а также обоснованы закономерности формирования продуктивности агроландшафтов при разном уровне насыщения структуры посевных площадей масличными и зернобобовыми культурами в условиях засушливого климата Зауралья. По результатам мониторинга развития и вредоносности насекомых-вредителей в посевах льна масличного и ярового рапса были получены знания о характере их жизненного цикла в условиях Курганской области, установлены технологические особенности химической защиты посевов, обеспечены повышение продуктивности, рентабельность севооборотов с масличными культурами.

По результатам исследований создана «База данных нормативных параметров для экономической оценки технологий выращивания сельскохозяйственных культур в 2023 году».

Перед научными учреждениями России поставлена задача укрепления российского АПК и достижение целей, связанных с обеспечением продовольственной безопасности путем создания отечественных, конкурентоспособных сортов сельскохозяйственных культур и усиления производственной базы оригинального семеноводства. В различных экологических зонах Урала над созданием сортов сельскохозяйственных культур работают ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Челябинский НИИСХ, ФГБНУ «Пермский ФИЦ», ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН, ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Удмуртский ФИЦ УрО РАН, ФАНЦ Северо-Востока.

Доля семян сортов сельскохозяйственных культур отечественной селекции в Российской Федерации составляет у зерновых культур 72%, кукурузы – 48%, многолетних трав – 60%, картофеля – 9%. На протяжении ряда лет по данным ФГБУ «Россельхозцентр» первое место по объемам высева занимает сорт пшеницы мягкой яровой уральской селекции «Ирень», с 2023 года лидером по объему высева ячменя ярового стал сорт уральской селекции «Памяти Чепелева».

В 2023 году в Государственный реестр селекционных достижений включены и допущены к использованию в различных регионах Российской Федерации сорта ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН Челябинский НИИСХ, ФГБНУ «Пермский ФИЦ», ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН, ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Удмуртский ФИЦ УрО РАН, ФАНЦ Северо-Востока: пшеница мягкая яровая – «Одинцовская», «Оренбургская 32», пшеница яровая твердая – «Лариса янтарная», ячмень яровой – «Крауф», «Челябинский 100», тритикале озимая – «Сибард», овес яровой «Блиц», горох посевной – «Красноуфимский 20», картофель – «Шах», «Шудбур», яблоня – «Розочка», груша – «Розовый бочонок», «Султан», «Чусовая», абрикос – «Призер», слива китайская – «Доминика», «Эвридика».

Для усиления кормовой базы животноводства и повышения молочной продуктивности скота с целью производства качественных объемистых кормов в различных природно-экологических зонах продолжена селекция и оценка кукурузы, люцерны изменчивой, клевера лугового и ежи сборной.

АКАДЕМИК РАН Н.В. МУШНИКОВ
**«РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ФИЗИКО-
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, НАПРАВЛЕННЫЕ
НА ДОСТИЖЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
СУВЕРЕНИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»**

В Уральском отделении Российской академии наук в области физико-технических наук работают следующие академические научные организации: Институт физики металлов им. М.Н. Михеева (ИФМ УрО РАН), Институт электрофизики (ИЭФ УрО РАН), Институт теплофизики (ИТФ УрО РАН), Институт промышленной экологии (ИПЭ УрО РАН), Физико-технический институт Удмуртского федерального исследовательского центра (ФТИ УдмФИЦ УрО РАН), Научный центр металлургической физики и материаловедения УдмФИЦ УрО РАН и Научно-исследовательский центр «Надежность и ресурс больших систем машин» (НИЦ НиР БСМ). Все организации внесли вклад в разработку новых материалов и технологий, используемых либо предлагаемых к использованию в реальном секторе экономики.

Материалы и технологии для микроэлектроники. В ИФМ УрО РАН разработана магнетронная технология синтеза наноструктур с эффектом гигантского магнитосопротивления, имеющих рекордные функциональные характеристики. Разработаны обменно-связанные металлические сверхрешетки CoFeNi/CuIn, которые по величине магнитосопротивления, минимальности гистерезиса и высокой линейности по магнитному полю превышают зарубежные аналоги и являются лучшими в своем классе магниточувствительных наноматериалов. Оптимизированные для конкретных задач наноструктуры, нанесенные на кремниевые пластины, в настоящее время используются на предприятии радиоэлектронной промышленности для создания инновационных изделий магнитоэлектроники и спинтроники.

В традиционных устройствах спинтроники электрический ток течет перпендикулярно слоям наноструктуры. В последние годы получила развитие спин-орбитроника, когда электрический ток течет параллельно слоям, а в направлении перпендикулярно слоям за счет сильного спин-орбитального взаимодействия возникает чисто спиновый ток. В ИФМ УрО РАН построена теория нового направления - хиральной спин-орбитроники. Изучена инжекция чисто спинового тока в гелимагнитную структуру и предсказано существование эффекта хиральной поляризации чисто спинового тока. Показано, что при протекании тока из-за эффекта передачи спинового момента в хиральных гелимагнетиках возникает вращение спирали намагниченности. При вращении спиновой спирали электросопротивление гелимагнетика оказывается меньше, чем в случае неподвижной спирали, что может быть использовано в устройствах записи и считывания информации.

Материалы для фотоники. Сотрудниками УдмФИЦ УрО РАН показано, что в тонких нанокompозитных пленках CuSe/Se под действием лазерных импульсов возбуждаются поляризационно-зависимые фототоки. Установлено, что инверсия знака циркулярной поляризации падающего излучения приводит к изменению полярности циркулярного фототока, возникающего в направлении, перпендику-

лярном плоскости падения излучения на пленку. Установлено, что циркулярный фототок обусловлен циркулярным поверхностным фотогальваническим эффектом. Полученные результаты показывают перспективность использования тонких пленок на основе CuSe/Se для разработки и создания быстродействующих датчиков знака циркулярной поляризации лазерного излучения, работающих на новых физических принципах в широком диапазоне длин волн.

В ИЭФ УрО РАН с помощью твердофазного вакуумного спекания нанопорошков, синтезированных методом лазерного испарения, получены оптические керамики на основе $Tm^{3+}:(Sc_x Y_{1-x})_2O_3$, обладающие коэффициентом пропускания более 80% в ближней инфракрасной области. При накачке керамического элемента титан-сапфировым лазером реализована непрерывная генерация излучения в области 2.06 мкм с мощностью 812 мВт и рекордной дифференциальной эффективностью 70.2%. Установлено, что керамика $(Tm_{0.05} Y_{0.698} Sc_{0.252})_2O_3$ обладает широкой полосой люминесценции, 167 нм. Полученные керамические образцы могут найти применение в качестве активных сред твердотельных лазеров с регулируемыми спектральными характеристиками, в том числе, генерирующих импульсы сверхкороткой длительности в области 2 мкм.

Технологии ускорителей. Сотрудниками ИЭФ УрО РАН продемонстрирована возможность высокоградиентного ускорения электронов в системе с коаксиальными электронными пучками гигаваттным субнаносекундным СВЧ импульсом сверхизлучения диапазона 38 ГГц. Наружным пучком генерировался импульс сверхизлучения, накачивавший полукрытый резонатор, в котором ускорялся внутренний параксиальный пучок. Получено 5-кратное увеличение энергии части электронов этого пучка с 250 кэВ до 1.25 МэВ с током в единицы миллиампер. При этом градиент ускорения достигал 250 МэВ/м, что значительно превышает рекордные параметры, достигнутые в длинноволновых клистродах.

Материалы для энергетики. В ИФМ УрО РАН при изучении свойств халькогенидных термоэлектриков обнаружено, что при квазигидростатическом сжатии монокристаллы SnSe испытывают существенную пластическую деформацию и переходят в необычное кристаллическое состояние с уменьшенной шириной запрещенной зоны. При этом термоэлектрический коэффициент мощности кристаллов значительно увеличивается под давлением 5 ГПа, до $180 \text{ мкВт} \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{см}^{-1}$. Полученные результаты указывают на эффективность стратегии улучшения эксплуатационных параметров халькогенидных термоэлектриков путём их деформации в условиях высокого давления.

Тонкие пленки электролита на основе фосфор-оксинитрида лития (LiPON) перспективны для создания полностью твердотельных литий-ионных батарей и суперконденсаторов. В ИЭФ УрО РАН обнаружено, что величина ионной проводимости и микроструктура пленок твердого электролита на основе LiPON, синтезированного методом термического испарения ортофосфата лития в азотной плазме, определяется степенью диссоциации паров Li_3PO_4 в плазме (5 – 70 %), повышение которой вначале приводит к увеличению ионной проводимости однородных пленок, а затем к ухудшению их качества вследствие сегрегации лития.

В ИТФ УрО РАН в опытах по быстрому переводу водных растворов в область их неустойчивых состояний обнаружено явление интенсификации теплопереноса, проявляющееся в определенной области содержания воды и степени перегрева от-

носителем спинодали жидкость-жидкость. Существенный масштаб явления указывает на перспективу применения подобных растворов для отведения тепловых потоков большой плотности, в первую очередь, в условиях стесненного пространства и наличия тепловыделяющих элементов с малым характерным временем отклика.

Технологии сварки. Сотрудниками ИФМ УрО РАН установлена эффективность использования сварочной проволоки нового класса ПП-УТМ для повышения конструктивной прочности сварных соединений в условиях высокоскоростного ударного воздействия, при котором локальное упрочнение металла шва достигается за счет образования мартенсита деформации. Преимущество такого подхода подтверждено в заводских условиях при производстве крупногабаритных сварных конструкций ответственного назначения.

Совместная разработка ИФМ УрО РАН и НПП «Машпром» направлена на решение задачи восстановительного ремонта дорогостоящих медных плит кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок. Разработана аддитивная технология послойного восстановления плит кристаллизаторов из Cr-Zr бронзы способом сварки трением с перемешиванием. На установке с вращающимся сварочным инструментом из жаропрочного сплава получены бездефектные соединения с плитой кристаллизатора присадочных пластин толщиной до 5 мм из хромоциркониевой бронзы. Восстановление медных плит до первоначальной толщины способом сварки трением с перемешиванием с последующим нанесением износостойких композиционных покрытий обеспечивает бесконечный цикл эксплуатации кристаллизаторов и практически исключает потребность в их импорте.

Конструкционные материалы. Сотрудниками УдмФИЦ показано, что объёмный нагрев смесей системы титан/ферротитан – ферробор позволяет получать износостойкие компактные материалы, содержащие борид титана, а добавки к исходным реагентам меди и никеля повышают прочность композитов. Получен ряд литых сплавов с применением в качестве лигатур реакционных СВС-смесей. Установлено, что легирующие составы на основе ферротитана с добавками углерод- и борсодержащих компонентов обеспечивают получение композиционных поверхностно-легированных отливок с высокими показателями стойкости к абразивному изнашиванию и технологической прочностью. Покрытия, сформированные на стальных и железных подложках методом высокоскоростного селективного лазерного спекания полученных механоактивацией порошков на основе карбогидридов титана и ниобия демонстрируют отсутствие износа при испытаниях в режиме сухого фреттинг-изнашивания с контртелом из закаленной стали и сплава ВК6. Такие покрытия могут быть использованы как альтернатива покрытиям из дорогостоящих карбидов вольфрама и кобальта.

Материалы и технологии промышленной безопасности. Применение новых нановолокнистых нетканых фильтрующих материалов и методов радиационного контроля позволило сотрудникам ИПЭ УрО РАН получить наиболее полную и достоверную информацию о радионуклидном составе газоаэрозольной смеси в выбросах всех российских АЭС. Выявленные качественные и количественные характеристики выбросов позволили определить радиоактивные изотопы, которые вносят наибольший вклад в формирование дозы облучения населения при

нормальной эксплуатации действующих АЭС России. Сотрудники ИПЭ УрО РАН в составе авторского коллектива за эту разработку удостоены Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

В НИЦ НиР БСМ создан уникальный инструментарий для выработки и поддержки принятия решений, позволяющий управлять мониторингом состояния, живучестью, безопасностью, комплексными рисками взаимозависимых ключевых урбанистических и промышленных объектов, инфраструктур в обычных условиях и при ЧС, а также поддерживать и повышать уровень технического регулирования промышленной сферы по критериям надежности, живучести, безопасности, риска для обеспечения приемлемого уровня защищенности населения, объектов инфраструктуры и стратегического управления муниципальным образованием.

Приборы технической диагностики. В ИФМ УрО РАН разработана многоцелевая портативная программно-аппаратная система DIUS-1.21M с применением цифровых методов генерации и анализа сигналов, позволяющая выполнять диагностику материалов по их магнитным свойствам и по полям рассеяния обнаруживать дефекты сплошности ферромагнитных объектов. Мобильная программно-аппаратная система, обладающая функциями локального измерения комплекса магнитных параметров и возможностями магнитометра общего назначения, может быть использована в заводских лабораториях для оценки качества изделий, а также при диагностике объектов в полевых условиях как для оценки их структурно-фазового и напряженно-деформированного состояний, так и для их магнитной дефектоскопии.

В ФТИ УдмФИЦ УрО РАН с использованием оригинальной методики применения механических метаматериалов создан Комплекс многоканальных автономных ударостойких измерительных приборов серии «КРАБ» для высокоточных измерений при ударных испытаниях сложных технических систем специального назначения. Приборы Комплекса имеют каналы измерения сигналов ускорения и динамической деформации и могут быть использованы также для измерения других физических параметров с датчиками на основе пьезо- или тензорезистивного эффекта. Приборы имеют высокую ударную стойкость – до 10 000 г мс, малые габариты (объем около 1,6дм³) и вес (не более 1,5кг), наивысший уровень ремонтпригодности, что в совокупности обеспечивает беспрецедентно высокий уровень эксплуатационной надежности, благодаря чему они могут быть использованы при валидации динамических параметров цифровых моделей сложных изделий при создании их цифровых двойников. Приборы Комплекса внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в области использования атомной энергии, эксплуатируются в испытательном комплексе ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (г. Саров).

Правительство Российской Федерации распоряжением от 20 мая 2023г. № 1315-р утвердило Концепцию технологического развития на период до 2030 года. Основной упор в Концепции сделан на развитие сквозных технологий, которые позволят обеспечить технологический суверенитет страны. Приведенные в этом кратком сообщении разработки институтов физико-технического профиля, находящихся под научно-методическим руководством УрО РАН, соответствуют сквозным технологиям «Микроэлектроника и фотоника», «Технологии сенсорики», «Технологии новых материалов и веществ, их моделирования и разработки» и способствуют повышению уровня технологического суверенитета страны.

ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ РАН

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Н.Э. НИФАНТЬЕВ

«ДИАГНОСТИКУМЫ И ВАКЦИНЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ОЛИГОСАХАРИДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГРИБКОВЫХ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ИНФЕКЦИЙ, ВЫЗВАННЫХ ПАТОГЕНАМИ, РЕЗИСТЕНТНЫМИ К ДЕЙСТВИЮ ЛЕКАРСТВ»

Уход с российского рынка зарубежных поставщиков создал риск для биобезопасности страны и снижения обеспеченности населения эффективными диагностическими средствами и вакцинами для профилактики заражений возбудителями инфекций и их детектирования. В качестве приоритетного направления НИР и ОКР целесообразно выбрать разработку новых методов профилактики и лечения бактериальных и грибковых инфекций, вызванных патогенами, резистентными к действию современных антибиотиков, антимикотиков и других лекарственных средств.

Весомый вклад в решение этой проблемы даст разработка современных углеводных вакцин 3-его поколения, терапевтических антител и диагностических систем, использующих в качестве мишеней углеводные антигены, экспрессированные на поверхности патогенных бактерий и грибов.

До ковидной пандемии стоимость углеводных вакцин 2-ого (т.е. устаревающего) поколения составлял почти половину стоимости всего Национального Календаря профилактических прививок. И они практически все являлись импортными продуктами.

Создание таких продуктов стало возможным благодаря разработанным и проведённым в лаборатории чл.-корр. РАН Н.Э. Нифантьева в ИОХ РАН синтезам антигенных олигосахаридов и гликоконъюгатов на их основе, включая конъюгированные вакцинные кандидаты. Сегодня в ИОХ РАН создана база для синтеза уже известных и новых вакцин и диагностикумов.

В институте Биоорганической химии под руководством его директора, академика РАН А.Г. Габиева, создана база создания терапевтических моноклональных антител против углеводных маркеров, определяющих развитие инфекций.

В лабораториях других членов РАН, в том числе из ОМН РАН, имеется база для испытаний указанных высокотехнологических продуктов (НИИ ВС им. Мечникова, Центр им. Чумакова и др.). Таким образом, имеются все научно-тех-

нологические и инфраструктурные заделы для разработки, испытаний и даже выпуска новых диагностикумов, вакцин и терапевтических антител, требуемых для здравоохранения.

Целесообразно проведение регулярных стратсессий ОХНМ, ОБН, ОМН и ОСХН с привлечением соответствующих тематических Научных советов РАН для дефинирования перспективных продуктов для оперативной разработки и внедрение в практику здравоохранения.

Задача для РАН сегодня – разработать механизм подготовки и экспертизы особо значимых НИР и ОКР, отвечающих особо актуальным задачам, а также получения для них приоритетного финансирования от соответствующих ФОИВ. Имеющиеся сегодня инструменты поддержки указанных проектов неэффективны. Об этом говорит, например, очень малое количество профинансированных проектов, рассмотренных и получивших высокую оценку при всесторонней экспертизе на тематических Советах СНТР Российской Федерации. Целесообразно создание совместных рабочих групп РАН и соответствующих ФОИВов для устранения разрыва их сотрудничества с РАН, в том числе и включение представителей РАН в Бюджетные комиссии ФОИВов для сопровождения приоритетных проектов, предложенных членами РАН.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Н.Ф. САЛАХУТДИНОВ
«ПРИРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В СОЗДАНИИ
НОВЫХ ПРЕПАРАТОВ В МЕДИЦИНЕ
И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ»

Природные соединения были использованы для создания новых эффективных агентов для борьбы с инфекционными заболеваниями, включая особо опасные, нейродегенеративными патологиями, опухолевыми заболеваниями. Лидерные соединения прошли доклинические испытания, а некоторые находятся на клинических испытаниях.

Развернуты исследования по созданию экологичных биопестицидов первого поколения на основе экстрактов растений и второго поколения на основе комплексов модифицированного хитозана и активных веществ. Многолетние испытания на зерновых, бобовых, картофеле показали высокую эффективность, в том числе экономическую, созданных биопестицидов, не уступающих синтетическим пестицидам.

ДОКТОР ХИМИЧЕСКИХ НАУК Н.А. САНИНА
«ЭКЗОГЕННЫЕ ДОНОРЫ ОКСИДА АЗОТА (NO)
В ХИМИОТЕРАПИИ ГЛИОМ:
ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

В ФИЦ ПХФ и МХ РАН получено уникальное соединение – нитрозильный комплекс железа с N-этилтиомочевинной, обладающее выдающейся противоглиомной активностью. Комплекс значительно превосходит широко используемый в терапии опухолей головного мозга клинический препарат Темодал по противоглиомной активности в экспериментах *in vitro*. Полученные в ФИЦ ПХФ и МХ РАН данные говорят о том, что нитрозильный комплекс железа с N-этилтиомочевинной является потенциальным противоопухолевым соединением с высокой избирательностью действия и должен быть исследован на моделях *in vivo*, в том числе на ксенографтах. Отсутствие значительного прогресса в терапии злокачественных опухолей мозга во всем мире предполагает необходимость проведения доклинических испытаний нитрозильного комплекса железа с N-этилтиомочевинной.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН В.С. КОМЛЕВ «БИОСОВМЕСТИМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ И ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ»

В ИМЕТ РАН выполнен цикл комплексных исследований по разработке фундаментальных основ технологии создания биоматериалов для замещения и регенерации тканей и органов человека. Разработан широкий спектр материалов медицинского назначения, различающихся по химическому, фазовому составу, структуре, механическим, химическим и биологическим свойствам, назначению для применения. В частности, разработаны принципы формирования архитектуры, микро- и наноструктуры пористых керамических и композиционных материалов, обеспечивающих высокие механические свойства в сочетании с клинической эффективностью при хирургических вмешательствах; разработаны и изучены фундаментальные основы методов повышения прочности пористой биокерамики; созданы биосовместимые резорбируемые гибридные композиты на основе биополимеров и фосфатов кальция с высокими механическими свойствами; изучены фундаментальные проблемы формирования структуры и свойств керамики на основе фосфатов кальция при физиологических температурах с использованием принципа реакционного отверждения в вяжущих системах компонентов. В Институте развиты основы технологий аддитивного производства неорганических материалов, в том числе трехмерная печать ген-активированных персонализированных тканеинженерных конструкций. Проведены клинические испытания и внедрение в клиническую практику первого в мире ген-активированного материала для лечения пациентов с повреждениями костей. Впервые синтезированы образцы костных тканей методом трехмерной фабрикации на орбитальной Международной космической станции (МКС). Показано, что в условиях невесомости возможно изучать сложные биологические процессы и создавать тканеинженерные конструкции с высоким регенеративным потенциалом.

В ИМЕТ РАН организовано малотоннажное производство медицинских изделий, а именно синтетических остеопластических материалов на основе фосфатов кальция для тканевой инженерии.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН С.Н. ЧВАЛУН
«ПОЛИМЕРЫ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ: ОТ МОНОМЕРОВ
ДО МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ
И СРЕДСТВ ДОСТАВКИ»

Развитие современных медицинских технологий требует разработки широкого ассортимента биоразлагаемых полимерных и композиционных материалов различной морфологии, с регулируемыми физико-механическими характеристиками и заранее заданными сроками деградации. Функциональные материалы нового поколения для хирургии должны обладать биоактивными свойствами, содержать различные терапевтические агенты, запрограммированным образом реагировать на внешние стимулы и др. Для развития персонализированной медицины важно создать материалы для аддитивных технологий (3D-печати и биопечати). В докладе будут рассмотрены разработанные методы получения биоразлагаемых полимерных и композиционных материалов, а также будут представлены созданные на их основе медицинские изделия: резорбируемые хирургические нити, винты и штифты для ортопедии, средства для адресной доставки лекарств и матриксы для прототипирования органов и тканей.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН Е.А. ГУДИЛИН

«МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГКР СПЕКТРОСКОПИИ: ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ»

Развитие современных методов анализа в интересах биологии, медицины, здравоохранения, фармацевтики, пищевой промышленности, нефтедобычи и нефтепереработки, криминалистики, экологии является важной тенденцией не только современной аналитической химии, но также и связанных с ней естественным образом областей химии твердого тела и химического материаловедения. Одним из уникальных методов анализа, напрямую связанных с разработкой новых наноструктурированных плазмонных материалов, является спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (ГКР), в которой за счет комбинации инструментального метода (спектроскопии КР) и использования наноматериалов удается рекордным образом повысить сечение рассеяния сигнала КР, который обычно достаточно мал. В данном методе на практике достигается усиление сигнала комбинационного рассеяния до 6 – 9 порядков величины, для чего необходим направленный дизайн наноматериалов, обычно на основе металлического золота и серебра, обеспечивающий воспроизводимую и эффективную реализацию метода ГКР для широкого круга практически значимых аналитов. Отдельной важной особенностью метода, кроме высокой чувствительности, возможности определять аналиты в водных и иных растворах в наномолярных, в ряде случаев фемтомолярных концентрациях, способности оценивать текущую конформацию аналита по спектральным данным, является также возможность «бесконтактной» записи спектра с отдельных молекул и молекулярных агрегатов и комплексов, если определяемый аналит находится на расстоянии до 10 – 15 нм от поверхности наноструктурированного материала. Указанные особенности позволяют, таким образом, неразрушающим образом, интактно, анализировать сверхмалые концентрации метаболитов и интермедиатов в сложных биологических объектах и матрицах, что недостижимо для подавляющего большинства даже более сложных методов анализа.

В докладе рассмотрены современное состояние, области применения, вклады ведущих коллективов и перспективы развития метода ГКР во взаимосвязи с разработкой новых приемов синтеза, подходов по дизайну наноструктурированных материалов, гетероструктур, коллоидосом, обладающих требуемыми оптическими, физико-химическими и плазмонными характеристиками. Отдельное место в докладе уделено созданию полифункциональных наноматериалов для тераностики как важного направления химии и наук о материалах.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН В.К. ИВАНОВ «275 ЛЕТ ХИМИЧЕСКОЙ НАУКЕ В РОССИИ»

Российская химическая наука в 2023 г. отметила значимый юбилей – 275 лет назад, 23 октября 1748 г., в Академии наук была основана химическая лаборатория М.В. Ломоносова, что положило начало развитию химической науки в нашей стране.

Идея организации химической лаборатории в Академии наук пришла М.В. Ломоносову во время обучения в Германии, где он не только работал в лабораториях своих наставников (известные ученые Христиан фон Вольф и Иоганн Генкель), но и ознакомился с химическими учреждениями Европы. В Петербург М.В. Ломоносов вернулся уже с конкретными идеями и планами по созданию химической лаборатории. Через полгода после возвращения, в январе 1742 г., получив позицию адъюнкта в Академии, он подал прошение об основании химической лаборатории. В общей сложности в период с 1742 по 1748 гг. таких прошений было составлено 17, и лишь последнее было одобрено. Первый камень в фундамент лаборатории был заложен 3 августа 1748 г., а уже 12 октября 1748 г. (23 октября по новому стилю) постройка лаборатории была завершена. В разные годы в ней трудились такие блестящие учёные, как Г.И. Гесс, К.С. Кирхгоф, Ю.Ф. Фрицше, П.И. Вальден, Ф.Ф. Бейльштейн, Н.Н. Зинин, А.М. Бутлеров, Н.Н. Бекетов, Н.С. Курнаков и другие, проводились передовые исследования, читались лекции и курсы. Лаборатория стала не только первой химической, но и первой силикатной лабораторией в России. Именно здесь М.В. Ломоносовым были заложены основы научного стеклоделия и изготовления фарфора.

Проследить историю и эволюцию лаборатории Ломоносова можно вплоть до сегодняшнего дня. Менялись здания, руководители, но до 1918 года химическая лаборатория Академии наук оставалась единственной химической исследовательской организацией Академии наук. В 1934 году Лаборатория общей химии АН СССР, в которую к тому времени трансформировалась лаборатория Ломоносова, объединилась с Институтом платины, Институтом физико-химического анализа и физико-химическим отделом Лаборатории высоких давлений АН СССР, образовав Институт общей и неорганической химии (ныне – ИОНХ РАН). Организация деятельности химической лаборатории Академии наук стала прообразом организации деятельности и других исследовательских химических учреждений в России. При этом проблемы, с которыми сталкивались и сам создатель лаборатории М.В. Ломоносов, и его преемники и последователи, и способы их решения остаются актуальными и сегодня, по прошествии 275 лет.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН от 13.12.2023 № 53



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

«*Российская Академия Наук*»

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ПОСТАНОВЛЕНИЕ

13 декабря 2023 г.

№ 53

Москва

О научной сессии общего собрания членов РАН «Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации»

В настоящее время происходит процесс крушения «однополярного мира», сложившегося на рубеже XX-XXI веков, путем его распада на макрорегионы и последующего формирования нового хозяйственного уклада в масштабах планеты, как глобальной системы функционирования природных, социальных экономических и технологических систем в интересах повышения качества жизни, базирующейся на фундаментальных законах развития Природы, Человека и Общества.

Ведущие позиции в новом мировом укладе займут только те страны, которые способны самостоятельно решать две основные задачи: обеспечение высокого качества жизни своего населения и обеспечение собственной обороны и безопасности. Очевидно, что успешное решение этих проблем будет зависеть от наличия в стране современного научно-технологического комплекса, базирующегося на лидирующей фундаментальной науке.

Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 утверждена Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (далее – Стратегия). В целях ее выполнения распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 июня 2017 г. № 1325-р был принят План мероприятий по реализации Стратегии на 2017-2019 годы. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 26 сентября 2017 г. № 2048-р в План внесены изменения и дополнения.

Указом Президента Российской Федерации от 15 марта 2021 г. № 143 «О мерах по повышению эффективности государственной научно-технической политики» в целях научно-технологического развития Российской Федерации, определения его приоритетов и обеспечения взаимодействия органов государственной власти Российской Федерации при формировании и реализации государственной научно-технической политики на Совет по науке и образованию при Президенте Российской Федерации были возложены функции по определению стратегических целей, задач и приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, а также по принятию решений о разработке и реализации Правительством Российской Федерации важнейших инновационных проектов государственного значения. В качестве постоянно действующего органа при Правительстве Российской Федерации была создана Комиссия по научно-технологическому развитию Российской Федерации.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р утверждена Концепция технологического развития на период до 2030 года (далее – Концепция). Концепция определяет технологический суверенитет как наличие в стране (под национальным контролем) высоко развитой системы фундаментальной науки и фундаментального образования, критических и сквозных технологий, обеспечивающих возможность устойчивого развития государства и общества в достижении собственных национальных целей.

Реализация Стратегии и Концепции направлена на развитие высокотехнологичных отраслей экономики Российской Федерации. Технологический суверенитет обеспечивается исследованиями, разработками и внедрением критических и сквозных технологий.

Следует выделить следующие ключевые вызовы для технологического развития Российской Федерации в период с 2023 по 2030 годы:

резкое ускорение процесса создания и распространения качественно новых технологий, в том числе цифровых, радикально меняющих рынки и производственные системы;

усложнение технологий, особенно в области искусственного интеллекта, микроэлектроники, квантовых вычислений, создания новых материалов, системотехники, инженерной биологии, требующее развития соответствующих компетенций и глубокой кооперации исследований;

крайне неблагоприятная внешняя обстановка, беспрецедентное санкционное давление недружественных государств на экономику страны.

Российская Федерация находится в первой десятке стран по патентной и публикационной активности в области технологий генерации и передачи энергии, квантовых технологий, и в середине второго десятка стран в области новых материалов, цифровых систем, искусственного интеллекта, новых производственных технологий, перспективных мобильных сетей связи, интернета вещей, а также медико-биологических и фармацевтических технологий. В то же время наблюдается резкое отставание от наиболее развитых стран в темпах инновационно-ориентированного экономического роста, что обусловлено низкой мотивацией разработчиков научно-технологических решений к созданию соответствующих производств, недостатком финансовых ресурсов и относительно небольшой

емкостью внутреннего рынка высокотехнологичной продукции, низкой заинтересованностью компаний к исследованиям и технологическим инновациям, ввиду отсутствия конкуренции и существовавшей до недавнего времени возможности покупки готовых технологических решений за рубежом.

Реформы научно-технологического комплекса России, проведенные в 1992-2013 гг., исходили из необходимости интеграции в мировое, а фактически в американско-европейское технологическое пространство на основе уже установленных другими правил, при общей ориентации своей экономики только на ресурсное развитие. При этом в основу реформ были положены следующие подходы: перестройка системы организации науки по зарубежным стандартам, использование зарубежных показателей для оценки эффективности и результативности науки, дезинтеграция прежней системы управления, институциональное копирование Запада (болонская система образования, трансформации Академии наук и тому подобное).

Еще одной проблемой и тормозящим фактором скорейшей реализации технологического развития является существенный уровень зависимости по широкому спектру материалов, оборудования и технологий от импортных поставщиков. Для ее преодоления в Российской Федерации необходимо предпринять комплекс организационных и экономических мер, как минимум, по импортозамещению необходимых материалов и технологий, а затем – по достижению собственного технологического суверенитета, сокращению отставания от развитых стран и достижению лидерства в принципиальных областях.

Российская Федерация обладает значительным кадровым потенциалом и существенными научно-техническими заделами по важнейшим направлениям развития технологий, что определяет следующие ключевые возможности для ускорения технологического развития Российской Федерации:

- локализация производств в высокотехнологичных отраслях в условиях сокращения импорта и ухода из страны иностранных компаний-конкурентов;
- использование и внедрение в отраслях экономики научных результатов благодаря имеющимся научно-технологическим заделам по ряду критических и сквозных технологий, созданию опытных образцов;
- применение накопленного опыта научных и образовательных школ для подготовки кадров непосредственно на научных, технологических и производственных площадках.

Новыми субъектами технологического развития страны должны стать научно-технологические объединения (консорциумы, технологические холдинги, технопарки и другие), включающие образовательную, исследовательскую, конструкторскую и производственную базы, опытные производства. Такие структуры могут формироваться как вокруг научных и образовательных организаций, так и вокруг технологических и производственных компаний. Такие объединения должны быть способны реализовывать крупномасштабные технологические проекты вплоть до разработки готовых к коммерциализации опытных образцов.

Для эффективного функционирования субъектов технологического развития нужна качественно новая институциональная среда:

- институты поддержки собственных линий разработки технологий, включая центры коллективного пользования, тестирования и испытаний;

- институт «квалифицированного заказчика», включая генеральных конструкторов и конструкторские бюро, формирующий техническое задание на исследования и разработки для дальнейшего внедрения их результатов в технологические и производственные процессы;
- цифровые платформы и информационные сервисы для обеспечения сетевого взаимодействия субъектов технологического развития;
- устранение регуляторных барьеров, прежде всего в части оборота результатов интеллектуальной деятельности и защиты прав инвесторов;
- программы внедрения наилучших доступных технологий с использованием собственных линий разработки технологий для высокотехнологичной продукции;
- соглашения Правительства Российской Федерации и компаний-лидеров по разработке линеек высокотехнологичной продукции на основе критических и сквозных технологий;
- установление и обеспечение прозрачных и стабильных регуляторных правил поведения и взаимодействия субъектов технологического развития, мотивирующих их к технологическим инновациям;
- государственный заказ на фундаментальные и прикладные исследования и разработки, создание приоритетных технологических решений.

В научных организациях под научно-методическим руководством РАН уже сейчас имеются существенные научные заделы по основным направлениям Стратегии и Концепции. Российской академией наук сформирована система научных советов по приоритетным направлениям «дорожных карт» высокотехнологичных направлений развития страны. Их функция – экспертное и аналитическое обеспечение и мониторинг научных исследований в интересах технологического развития. Российская академия наук активно включилась в работу по реализации «дорожных карт» развития высокотехнологичных направлений, определенных соглашениями, заключенными Правительством Российской Федерации с компаниями-лидерами и крупными государственными корпорациями для формирования перспективных технологических направлений и развития сквозных технологий. Научным советам РАН приданы экспертные функции по проведению научно-технической экспертизы результатов реализации Соглашений по отдельным высокотехнологичным направлениям.

Для результатов фундаментальных исследований, имеющих практическую и технологическую направленность, следует использовать установленные определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий, а также научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий.

Для обеспечения научного суверенитета и устойчивого развития страны в долгосрочной перспективе необходима стабильная финансовая поддержка фундаментальных исследований, сохранение и развитие научной инфраструктуры на уровне технологически развитых стран мира. Фундаментальные и поисковые исследования с дальним прицелом должны финансироваться в рамках государственного задания, а также на конкурсной основе через гранты Минобрнауки России и научных фондов по рекомендации отделений РАН по областям и направлениям науки и региональных отделений РАН. В современных геополитических условиях особое внимание необходимо уделить решению неотложных прикладных научных задач, от которых зависит суверенитет и обороноспособность Российской Федерации.

Общее собрание членов РАН отмечает, что научные организации (далее – институты), находящиеся под научно-методическим руководством РАН, играют весьма существенную роль в достижении научно-технологической независимости России и укреплении ее обороноспособности, и обращает внимание на неэффективное функционирование существующей системы финансирования институтов, которая ведет к стагнации фундаментальных и проблемно ориентированных исследований в стране. Необходимо концентрировать бюджетное финансирование исследований в рамках государственного задания, которое не покрывает полностью расходов на содержание инфраструктуры и государственного имущества институтов, в том числе уникальных научных установок, полигонов, приобретения расходных материалов, ремонтных работ. Сложившаяся система содержания инфраструктуры и государственного имущества, находящегося в управлении институтов, не соответствует важности и масштабу задач, стоящих перед ними, не позволяет гибко перестраивать финансирование по приоритетным направлениям технологического развития, которые должны определяться по предложениям Российской академии наук.

На научной сессии общего собрания членов РАН «Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации» 12-13 декабря 2023 г. были заслушаны прогнозно-аналитические доклады по основным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации. Целесообразно продолжить данный опыт обсуждения высокотехнологичных проблем на общих собраниях членов РАН. Итоги рассмотрения поднятых проблем и рекомендации общего собрания членов РАН по ним приведены в приложении к настоящему постановлению.

На основании материалов, представленных докладчиками, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Считать целесообразным законодательно определить, что наука является системообразующим институтом развития страны, и обеспечить финансирование отечественной науки в размере не менее 2-х процентов от валового внутреннего продукта (ВВП) Российской Федерации. Поручить президенту Российской академии наук выступить с указанной законодательной инициативой.

2. Руководству Российской академии наук обеспечить проведение компетентной экспертизы проектов новой версии Федерального закона «О науке и государственной научно-технической политике» и готовящегося Федерального закона «О технологической политике в Российской Федерации». Считать необходимым обеспечить в исходной и принципиальной для всех последующих документов формулировке определения понятия технологического суверенитета понимание ключевой роли фундаментальных и ориентированных исследований в отечественных научных и научно-образовательных организациях, подготовки отечественных высококвалифицированных научных и инженерных кадров, а также использования отечественного стратегического сырья. Рекомендовать принять данное определение в следующей формулировке: «Технологический суверенитет – это состояние промышленного комплекса и социальной сферы Российской Федерации, при котором обеспечена его способность самостоятельно выпускать высокотехнологичную продукцию, необходимую для решения стратегических задач обороны и

политической и экономической безопасности страны, с опорой на отечественные научно-технологические разработки и отечественный научный и научно-технологический персонал, а также на отечественные ресурсы необходимого для выпуска такой продукции стратегического сырья».

3. Совместно с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и государственными корпорациями создать рабочие группы по разработке «дорожных карт» по трансферу технологий и результатов научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок, полученных по результатам реализации государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (ГП НТР).

4. Президиуму РАН сформировать при Российской академии наук банк данных по технологическим разработкам с учетом уровней готовности технологий. Отделениям РАН по областям и направлениям науки и региональным отделениям РАН до 1 марта 2024 г. представить в президиум РАН требования к уровням готовности технологий с учетом приказа Минобрнауки России от 6 февраля 2023 г. № 107 «Об утверждении Порядка определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий, а также научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий».

5. Президиуму РАН подготовить и внести в Комиссию по научно-технологическому развитию Российской Федерации, созданной при Правительстве Российской Федерации, предложения по актуализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации с учетом изменения геополитической и социально-экономической ситуации, определив основной целью создание современной научно-технологической базы, обеспечивающей переход к экономике полного инновационного цикла, реализацию национальных приоритетов и достижение технологического суверенитета и национальных целей, определенных Президентом Российской Федерации.

6. Президиуму РАН разработать и внести в Совет по науке и высшему образованию при Президенте Российской Федерации предложения по системе оценки результатов научных исследований, основанной в первую очередь на экспертизе результатов со стороны Российской академии наук, а также с учетом научных публикаций, включая, в том числе научные статьи в высокорейтинговых отечественных и международных журналах, получения патентов и создания «ноу-хау» по основным направлениям технологического развития. Важным фактором эффективности исследований считать международное научное сотрудничество, совместные исследования и мероприятия с зарубежными научными организациями и университетами, сделав акцент, прежде всего, на страны Союзного государства России и Беларуси, Евразийского экономического союза, БРИКС, Шанхайской организации сотрудничества и другие дружественные и нейтральные государства.

7. В целях создания для промышленных предприятий и коммерческих организаций возможности финансировать из собственных средств научные, конструкторские и технологические работы научных организаций президиуму РАН подготовить и направить в Правительство Российской Федерации предложения о внесении в Налоговый кодекс Российской Федерации дополнения, позволяющего относить затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки на себестоимость продукции.

8. Рекомендовать Российскому научному фонду и Фонду перспективных исследований расширить тематики научных исследований, финансируемых фондами, и создать тематические разделы конкурсов технологической независимости по основным направлениям, рассмотренным на общем собрании членов РАН.

9. Президиуму РАН представить в Правительство Российской Федерации предложения по внесению изменений в систему государственного финансирования научных организаций (институтов), находящихся под научно-методическим руководством РАН:

установить институтам целевое финансирование на расходы по содержанию инфраструктуры, оборудования и иного имущества;

в целях повышения эффективности планирования государственного задания научных организаций и контроля его выполнения сводные планы по всем темам государственного задания институтов с объемами требуемого финансирования необходимо предварительно рассматривать в РАН, с учетом востребованности результатов, а затем направлять в Минобрнауки России. Предусмотреть институтам возможность при необходимости оперативно вносить изменения в темы государственного задания и в распределение объемов финансирования.

10. В целях повышения эффективности научных исследований и разработок президиуму РАН совместно с Минобрнауки России подготовить и представить в Совет по науке и высшему образованию при Президенте Российской Федерации предложения по разработке программ развития научных институтов.

11. Всесторонне расширять деятельность научных организаций и членов РАН по популяризации науки, проводя работу со средствами массовой информации и образовательными организациями, в том числе общего, среднего и высшего образования.

12. Президиуму РАН подготовить и издать материалы настоящей научной сессии общего собрания членов РАН и собраний отделений РАН по областям и направлениям науки и региональных отделений РАН по рассматриваемой тематике в виде отдельной книги и направить материалы по решениям и рекомендациям настоящей научной сессии общего собрания членов РАН в Совет по науке и высшему образованию при Президенте Российской Федерации.

Президент РАН
академик РАН

Г.Я. Красников

Главный ученый секретарь
президиума РАН
академик РАН

М.В. Дубина

На основании выступлений участников и гостей общего собрания членов РАН, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии общего собрания членов РАН «Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации» 12-13 декабря 2023 г., общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Обратить внимание органов государственного управления Российской Федерации на то, что научно-технологический прогресс страны начинается с безусловного приоритета научного подхода во всех сферах развития государства и общества, реального возвышения науки, ее роли и престижа. Важно, чтобы учёные чувствовали реальную заботу государства и общества, осознавая то высокое доверие к ним, которое они должны оправдывать своими достижениями.

2. Продолжить целенаправленную работу президиума РАН по укреплению взаимодействия РАН со всеми ветвями власти Российской Федерации, добиваясь конкретных результатов таких действий. Активизировать участие РАН в обсуждении и принятии стратегических государственных решений.

3. Президиуму РАН предложить Правительству Российской Федерации выработать и принять формы учета квалифицированного мнения Российской академии наук и академических институтов, обладающих ценной информацией о тенденциях развития современной науки и передовых технологий, при принятии решений о создании новой техники и материалов, разработке и внедрении в серийное производство технологий мирового и опережающего мировой уровень.

4. Усилить координацию работы научных учреждений и образовательных организаций высшего образования новых субъектов Российской Федерации с отделениями РАН по областям и направлениям науки.

5. Отделениям РАН по областям и направлениям науки и региональным отделениям РАН акцентировать внимание на работах по внедрению результатов фундаментальных и поисковых исследований для решения современных и перспективных задач укрепления обороны и безопасности государства, в том числе во исполнение постановления Правительства Российской Федерации о выполнении подпрограммы № 6 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы).

6. Всемерно расширять сотрудничество РАН с партнерами из стран СНГ, БРИКС, Юго-Восточной Азии, Латинской Америки, Ближнего Востока, Африки. Активизировать и расширять участие РАН в крупных научных мероприятиях с международным участием.

7. Добиться восстановления суверенитета в информационной и научно-издательской деятельности Российской академии наук, как учредителя и соучредителя 170 ведущих российских научных журналов, в частности, определив издательство «Наука» единственным поставщиком услуг по изданию коллекции научных журналов РАН и других научных изданий. Добиться решения вопросов распространения русскоязычной версии научной периодики и издания переводных версий.

8. Достойно и на высоком уровне провести и максимально широко осветить в средствах массовой информации юбилейные мероприятия 2024 года, посвященные 300-летию Российской академии наук.

На научной сессии общего собрания членов РАН «Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации» 12-13 декабря 2023 г. были заслушаны и обсуждены 15 прогнозно-аналитических докладов по основным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации.

1. Микроэлектронные технологии в решении задач научно-технологического суверенитета страны. Доклад академика РАН Красникова Г.Я. (Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН).

Академические институты добились существенных научно-технологических достижений, например, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН и Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН в области создания низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур и приборов на их основе; Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН и Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН – по созданию технологии GaN-гетероструктур на кремнии; Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН и Институт физики микроструктур РАН – по созданию процессов и отечественных установок фотолитографии. Также ведутся работы в области фотоники и фотонных интегральных схем.

Высокий научно-технологический уровень отечественных ученых позволяет им адекватно реагировать на новые вызовы в области высоких технологий, в частности, квантовых технологий. Ученые Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН и Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН совместно с АО «РЖД», ответственным за «дорожную карту» по квантовым коммуникациям, успешно ведут работы по созданию отечественных источников и детекторов одиночных фотонов, ученые Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и Института физики твердого тела РАН – в рамках проектов Госкорпорации «Росатом» по реализации «дорожной карты» по квантовым вычислениям участвуют в работах по созданию интегральных чипов квантовых компьютеров на базе ионов в ловушках и сверхпроводниковых джозефсоновских элементах.

Возможность самостоятельного развития микроэлектронной промышленности определяется необходимостью разработки и производства всего комплекса материалов, технологического оборудования и систем автоматизированного проектирования для производства изделий микроэлектроники с необходимостью одновременного развития соответствующих компетенций. Современные технологии микроэлектроники предъявляют особые требования к чистоте используемых материалов. К материалам, не производимым на территории России, в настоящее время относятся литографические материалы, высокочистые химические вещества и реагенты (специальные газы, металлоорганические соединения, прекурсоры, кислоты, неорганические реагенты, суспензии, растворители), особо чистые материалы для эпитаксиальных процессов (газофазной и молекулярной эпитаксии) и многие другие.

Сдерживающими факторами организации производства материалов для микроэлектроники являются: малые объемы потребления материалов и, как следствие, длительная окупаемость затрат или их нерентабельность; отсутствие соответствующей материальной базы (инфраструктуры и оборудования); отсутствие специализированного аналитического центра для контроля высокочистых материалов для микроэлектроники, в том числе для функционального тестирования и испытаний материалов; ограниченное число организаций, обладающих компетенциями по разработке и производству современных материалов. Отдельного упоминания требует и проблема доступа к современным средствам САПР в связи с прекращением действия лицензионных соглашений.

Для обеспечения технологического суверенитета в области материалов для микроэлектроники распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 г. № 20-р в разделе 2 «Мероприятия и целевые индикаторы реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации до 2030 года» запланировано разработать и промышленно освоить ключевые технологии и производства материалов для литографии и расходных технологических материалов.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2022 г. № Пр-2393 для достижения целей и показателей основных мероприятий по развитию электронной промышленности, реализуемых в рамках государственных программ Российской Федерации, а также для достижения целей и выполнения задач, определяемых основами государственной политики Российской Федерации в области развития электронной промышленности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу, финансирование указанных основных мероприятий в 2023-2030 годах будет обеспечено в объеме до 1,8 триллиона рублей, с возможностью ежегодной корректировки объемов выделяемых бюджетных ассигнований при необходимости.

Правительством Российской Федерации совместно с РАН приняты дополнительные меры, направленные на повышение технологической независимости электронной промышленности, в том числе обеспечено:

- определение новых приоритетных технологических направлений, назначение руководителей таких направлений, а также определение и финансирование организаций, осуществляющих деятельность по приоритетным технологическим направлениям;
- проведение исследований и освоение принципиально новых технологических решений;
- разработка отечественных средств проектирования электронных компонентов;
- разработка научного, технологического и вспомогательного оборудования, в первую очередь необходимого для производства электронных компонентов;
- разработка электронных компонентов новых поколений;
- создание производства фотошаблонов, специальных газов, особо чистых химических соединений и исходных материалов, необходимых для производства электронных компонентов;
- создание и обеспечение функционирования полигона для проведения испытаний оборудования, отладки, апробации технологических процессов производства электронных компонентов, эксплуатации опытных образцов технологического оборудования;

– масштабирование производства электронной продукции с использованием технологических решений с научно доказанной эффективностью.

Вместе с тем следует осознавать, что в ближайшей перспективе добиться полного импортозамещения в области элементной базы невозможно в силу объективной ограниченности имеющихся ресурсов. При этом исключительно важное значение имеет общая координация усилий и расстановка приоритетов в решении проблемы импортозамещения. В настоящее время даже общие представления именно об иерархии потребностей и реальных возможностей по их реализации с учетом действующих и запланированных к вводу технологических мощностей для целого ряда высокотехнологичных направлений отсутствуют. Важную роль в решении этой задачи могут сыграть научные советы РАН.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Отделениям РАН по областям и направлениям науки принимать самое активное участие в государственных программах создания особо чистых материалов, электронного машиностроения, систем автоматического проектирования, новых технологий микроэлектроники.

2. Научным советам РАН совместно с Департаментом радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации организовать работу по определению иерархии первоочередных потребностей участников работ по развитию высокотехнологичных направлений Российской Федерации в электронной компонентной базе и сформировать предложения в План мероприятий по импортозамещению в отрасли радиоэлектронной промышленности Российской Федерации до 2024 года, утвержденный приказами Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

3. Министерству промышленности и торговли Российской Федерации при определении приоритетных направлений НИОКР в области производства химической продукции и новых материалов продолжить практику по взаимодействию с НИЦ «Курчатовский институт», Отделением химии и наук о материалах РАН и разработать процедуру по привлечению РАН для официальной экспертизы приоритетности направлений и научно-технологического уровня реализуемых при поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации проектов и отчетов по ним. Определить с участием НИЦ «Курчатовский институт» и Отделения химии и наук о материалах РАН перечень конкретных первоочередных проектов и поисковых тем в области разработки химических технологий производства новых веществ и материалов для включения работ по ним в государственные задания. Обратит внимание Министерства промышленности и торговли Российской Федерации на необходимость поддержки и финансирования работ по созданию принципиально новых технологий на базе порошковой металлургии, в том числе аддитивных технологий.

4. Министерству науки и высшего образования Российской Федерации и заинтересованным федеральным органам исполнительной власти совместно с РАН и НИЦ «Курчатовский институт» организовать консорциумы с определением головных научных организаций и созданием центров: «Новые материалы», «Средне-, мало- и микро-тоннажная химия», «Материалы для микроэлектроники», «Пилотная и опытно-промышленная отработка химических технологий» и «Химическое машиностроение».

5. Включить в перечень создаваемых при участии РАН консорциумов проблематику по разработке средств САПР с открытым программным кодом.

2. Российские университеты как ключевой элемент подготовки кадров для обеспечения технологического суверенитета страны. Доклад академика РАН Садовниченко В.А. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ректор; Российская академия наук, член президиума РАН).

Стратегическое партнерство российских университетов и научных организаций под эгидой Российского Союза ректоров и Российской академии наук является необходимым условием для организации подготовки высококвалифицированных кадров для обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации.

В настоящее время отсутствуют или не вполне выработаны механизмы создания и функционирования базовых кафедр вузов в научных организациях, лабораторий научных организаций на базе региональных вузов; организации коллективного пользования уникального научного оборудования, имеющегося в российских образовательных и научных организациях.

Для научно-технологического развития страны по приоритетным направлениям первоочередной задачей является расширение механизмов поддержки на конкурсной основе междисциплинарных научных проектов, реализуемых совместно образовательными и научными организациями; сетевых образовательных программ магистратуры и аспирантуры.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Университетам России совместно с Российской академией наук взять на себя ответственность за усиление фундаментальной составляющей отечественной системы образования, уделив особое внимание ее математической основе.

2. Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, Российскому Союзу ректоров, Российской академии наук разработать и утвердить новую концепцию естественнонаучного образования и передать ее в установленном порядке Правительству Российской Федерации для рассмотрения и утверждения.

3. Создать систему взаимодействия работодателей и бизнеса с университетами, обеспечивающую эффективную систему подготовки кадров, их распределение, в том числе уменьшение миграционных потоков.

4. Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, Российскому Союзу ректоров, Российской академии наук обсудить вопрос о создании в университетах междисциплинарных школ и принять необходимые меры по реализации этого проекта.

5. Уделить особое внимание созданию системы повышения квалификации в российских университетах, учитывая непрерывное изменение требований к компетенциям работников и новые вызовы для развития экономики.

6. Уделить особое внимание работе с учителями средних школ, проводить совместные съезды учителей и преподавателей, работающих в университетах, обсуждая совместные проблемы и задачи. Считать Единый государственный экзамен (ЕГЭ) не единственным критерием поступления в университеты.

7. Оказать особую поддержку специализированным школам по типу СУНЦ МГУ. Рассмотреть возможность их создания в регионах при поддержке ведущих университетов страны. Реализовать систему развития компетенций учителей таких школ в области педагогики и психологии. Способствовать развитию Содружества университетских и инновационных школ Евразийского пространства, созданного по инициативе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

8. Правительству Российской Федерации предусмотреть необходимые меры по увеличению финансирования системы образования для обеспечения решения актуальных задач подготовки кадров.

9. Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, Министерству просвещения Российской Федерации, Министерству энергетики Российской Федерации, Министерству промышленности и торговли Российской Федерации совместно с федеральными учебно-методическими объединениями по химии, химической технологии, инженерным наукам разработать предложения по дальнейшему развитию высшего и среднего профессионального образования в области химических технологий и создания оборудования для химической промышленности, аддитивных технологий, обратив особое внимание на содержание практической составляющей образовательных программ.

10. Российской академии наук и Российскому Союзу ректоров совместно с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Министерством просвещения Российской Федерации подготовить предложения по возрождению системы организаций дополнительного образования, направленных на научно-техническое творчество молодежи (школьников) и исследовательскую деятельность учащихся под научно-методическим руководством РАН. Рассмотреть возможность их создания в ряде регионов Российской Федерации при организационно-технической поддержке ведущих научных организаций и университетов страны, а также государственных корпораций.

3. Доверенный искусственный интеллект. Доклад академика РАН Аветисяна А.И. (Отделение математических наук РАН).

В современном мире конкурентоспособное развитие всех отраслей экономики и государственного управления возможно только с применением анализа больших баз данных, искусственного интеллекта (ИИ), но ИИ одновременно является и новым вызовом в обеспечении информационной безопасности. В России проведение фундаментальных и прикладных научных исследований в области развития технологий ИИ и обеспечения безопасности в сфере использования ИИ осуществляется научными организациями Российской академии наук, специализированными профильными центрами, другими научными и образовательными организациями. В 2021 году в рамках федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» создан Исследовательский центр доверенного искусственного интеллекта на базе Института системного программирования им. В.П. Иванникова РАН.

За рубежом также приоритетно обсуждаются вопросы информационной безопасности в контексте применения ИИ, в частности, развивается законодательная база, направленная на выявление угроз и своевременное парирование рисков, связанных с повсеместным использованием ИИ-технологий (заявление стран G7 об

основных принципах регулирования индустрии ИИ (октябрь 2023 г.); Директива о безопасности, надежности и доверии в области ИИ (США, 2023). Ключевыми направлениями технической политики и развития регламентов, направленных на усиление защищенности от рисков, связанных с использованием ИИ, были определены как: обеспечение надежности и безопасности систем на основе ИИ на протяжении всего их жизненного цикла; отслеживание источников наборов данных для обучения, мониторинг всех процессов и решений во время разработки систем на основе ИИ; обязательства для ведомств и разработчиков делиться с Правительством Российской Федерации результатами исследований безопасности продуктов на базе ИИ; продвижение и принятие общих стандартов, инструментов, механизмов и лучших практик для обеспечения безопасности, защищенности и надежности передовых систем ИИ.

Необходимым условием обеспечения суверенитета нашей страны, особенно в период бурного развития новых технологий и серьезных вызовов, стоящих перед Россией, является проведение фундаментальных и прикладных математических исследований на самом передовом уровне.

Это ставит перед членами РАН, научными коллективами и органами государственной власти, ответственными за развитие науки, очень серьезные задачи. При этом реформа РАН, проведенная 10 лет назад, не способствовала улучшению организации научных исследований и созданию стабильных условий для работы научных коллективов и для сохранения молодых исследователей в России. Следует пересмотреть систему оплаты труда ученых и порядок подготовки молодых ученых. Организация науки в нашей стране требует совершенствования с обязательным учетом мнения научного сообщества. Она должна обеспечивать эффективное взаимодействие государства, научных коллективов и бизнеса.

При этом должны быть сохранены формы поддержки научных коллективов, эффективность которых доказана практикой. В первую очередь речь идет о созданных в 2019 году математических центрах мирового уровня, а также о региональных научно-образовательных математических центрах. Необходимо: сохранять практику регулярного проведения серии тематических научных конференций, в том числе на базе центра «SIRIUS»; создать стабильные условия для издания академических научных журналов.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Развернуть Комплексную научно-техническую программу/проект (КНТП), нацеленную на исследование, реализацию и внедрение перспективных подходов к обеспечению кибербезопасности в условиях массового применения систем с искусственным интеллектом.

2. Определить, что важным механизмом реализации КНТП является создание репозитория доверенных средств ИИ и инструментов обеспечения доверия.

3. Развивать нормативное регулирование ИИ в Российской Федерации, которое в зависимости от применения предусматривает как возможности саморегулирования, так и обязательную государственную сертификацию на основе высокотехнологичных программных средств.

4. Расширить подготовку специалистов высшей квалификации по специальности «Кибербезопасность».

5. Математическим центрам мирового уровня и региональным научно-образовательным математическим центрам продолжить активные исследования задач искусственного интеллекта, в том числе исследования по алгоритмам распределенного и федеративного обучения больших моделей по большим данным.

6. Отделению математических наук РАН и Отделению нанотехнологий и информационных технологий РАН совместно с Отделением медицинских наук РАН выработать предложения по созданию условий по организации взаимодействия математиков и медиков, позволяющие эффективно использовать деперсонифицированные данные и методы искусственного интеллекта.

7. В рамках формирования национальной исследовательской инфраструктуры высокопроизводительной обработки, передачи и хранения данных, необходимой для решения стратегически важных вычислительных задач, создать суперкомпьютерный центр коллективного пользования РАН с производительностью 50 ПФлопс и обеспечить ее дальнейшее увеличение до 200 ПФлопс.

8. Разработать систему усвоения данных метеорологических наблюдений, основанную на технологиях машинного обучения. Обеспечить развитие математических моделей прогноза погоды, в которой гидродинамические модели используются совместно с методами искусственного интеллекта.

9. Развивать математические методы квантовых технологий и организовать удаленный доступ к квантовым облачным вычислениям на базе российских вычислительных платформ для всех заинтересованных научных и образовательных организаций России. Включить в номенклатуру специальностей ВАК специальность по математическим методам квантовых технологий.

10. Поддержать предложение Математического центра имени Л. Эйлера о проведении IV Конференции математических центров России в августе 2024 г. в г. Санкт-Петербурге.

4. Лазерные технологии в решении задач укрепления научно-технологического суверенитета страны. Доклад академика РАН Кведера В.В., члена-корреспондента РАН Гарнова С.В. (Отделение физических наук РАН).

Развитие отечественных лазерных (и в целом фотонных) технологий необходимо считать приоритетными направлениями науки, техники и технологий, обеспечивающими сохранение и укрепления научно-технологического суверенитета Российской Федерации. Создание новых технологий и изделий лазерной техники для обработки промышленных материалов, измерения, диагностики, сенсорики и технического зрения, информатики, высокоскоростной связи, медицины, систем безопасности, управления и контроля, а также систем специального и двойного назначения обеспечивает технологический паритет с развитыми зарубежными странами и решение задач импортозамещения в области оптики и фотоники.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. В целях повышения роли конкурсных программ в финансировании научных организаций Министерству науки и высшего образования Российской Федерации совместно с РАН подготовить проект программы развития научных институтов «Научное лидерство 2030» (по образцу программы «Приоритет-2030» для образовательных организаций высшего образования).

2. Считать важнейшими направлениями развития отечественных лазерных технологий создание:

- волоконных лазеров для лазерных станков обработки материалов и 3D принтеров;
- точной оптомеханики и сканирующих устройств;
- лазерного медицинского оборудования;
- лазерной космической связи;
- новых оптических материалов, нелинейных лазерных кристаллов, оптической керамики, активных лазерных волокон;
- систем диодной накачки для мощных лазеров.

5. Российская глобальная навигационная спутниковая система: результаты и перспективы. Доклад академика РАН Тестоедова Н.А. (Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Сибирское отделение РАН).

Глобальная навигационная система (ГЛОНАСС), полностью развернутая в 1995 году, является национальным достоянием Российской Федерации. Она создавалась и развивается большим коллективом ученых Российской академии наук и специалистов предприятий промышленности, НИИ Госкорпорации «Роскосмос», Министерства обороны Российской Федерации. В ней реализованы самые передовые технологии мирового уровня.

Основное назначение системы – решение задач по обеспечению обороны и безопасности страны. С 1999 года Указом Президента Российской Федерации система ГЛОНАСС получила статус системы двойного назначения, а с 2007 года Указом Президента Российской Федерации гражданские услуги системы предоставлены для применения потребителям всего мира на безвозмездной основе.

Без применения спутниковых навигационных технологий невозможны современные фундаментальные научные исследования в геодинاميке, гравиметрии, сейсмологии, изучении процессов в ионосфере и тропосфере Земли. Система ГЛОНАСС начала применяться для решения этих научных задач с начала 90-х годов еще до своего полного развертывания.

В свою очередь, создание и развитие космической навигационной системы невозможно обеспечить без участия академических организаций. Без точного определения фундаментальной небесной и земной систем координат и параметров связи между ними - параметров вращения и ориентации Земли, уточнения моделей гравитационного поля Земли, учета поправок из общей и частной теории относительности, - невозможно обеспечить корректный расчет орбиты спутников.

Гражданские услуги ГЛОНАСС, совместно с другими глобальными навигационными спутниковыми системами, массово внедрены в навигационные устройства всех российских и практически всех зарубежных производителей навигационного оборудования и используются на транспорте, в системах передачи данных, в электросетях, при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, при мониторинге опасных природных и техногенных процессов. Особое значение ГЛОНАСС приобретает для обеспечения навигации по Северному морскому пути, разработке месторождений на шельфе и в открытом морском пространстве.

Без применения спутниковых высокоточных навигационных технологий уже немислимо освоение и использование околоземного космического пространства. Практически все связные космические аппараты, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), научного назначения применяют ГЛОНАСС для баллистико-навигационного обеспечения полета, координатной привязки результатов научных экспериментов.

Система ГЛОНАСС развивается в соответствии с утвержденным Правительством Российской Федерации федеральным проектом, повышая технические характеристики, обеспечивая импортозамещение в части электронно-компонентной базы и создавая новые сервисы потребителям.

В то же время, в последние годы возникли новые вызовы и риски. Проводится реальная и потенциальная дискриминационная политика со стороны международных организаций (служб), связанных с координатно-временным и навигационным обеспечением и находящихся под западным контролем. Ограничивается участие российских организаций, взаимное предоставление научных данных, формирование совместных продуктов в работе таких международных организаций (служб) как Международное бюро мер и весов (BIPM), Международная ассоциация геодезии (IAG), Международная служба лазерной дальнометрии (ILRS), Международная служба РС ДБ для геодезии и астрономии (IVS), международные службы ГНСС (IGS).

В настоящее время существенно повысились требования потребителей к точности и, особенно, помехозащищенности навигационных сигналов для их практического применения. При этом номенклатура и характеристики продуктов, которые могут быть получены с использованием аналогов международных служб странами БРИКС сопоставимы с номенклатурой и характеристиками продуктов данных международных служб всех стран с учетом возможности решения текущих и перспективных задач. Первоочередное внимание, ввиду особенностей организации совместных РС ДБ-наблюдений, необходимо уделить созданию своего аналога IVS – международной РСДБ-службы на основе российского РСДБ-комплекса «Квazar-КВО» и обсерваторий стран БРИКС – для высокоточного определения фундаментальной небесной и земной систем координат, а также параметров вращения Земли в режиме квази-реального времени. Данный вопрос был рассмотрен Научным советом РАН по проблеме «Координатно-временное и навигационное обеспечение» с выдачей рекомендации о создании соответствующего консорциума стран БРИКС.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Обратиться в Правительство Российской Федерации с предложением выдвинуть инициативу о создании консорциума стран БРИКС с целью выполнения функций соответствующих международных организаций в рамках правового поля стран БРИКС и на международной арене.

2. Госкорпорации «Роскосмос» и заказчикам системы ГЛОНАСС ускорить работы по созданию высокоорбитального сегмента орбитальной группировки и систем высокоточной навигации.

3. Госкорпорации «Роскосмос» и заказчикам рассмотреть вопрос о включении в подпрограмму системы ГЛОНАСС дополнительных работ:

- по созданию помехоустойчивой навигационной аппаратуры для гражданского потребителя;

- по проработке облика и характеристик низкоорбитальной спутниковой группировки, формирующей дополнительное навигационное поле;
- по расширению географии размещения сетей фундаментального обеспечения и поддержке системы ГЛОНАСС на территории дружественных и нейтральных государств мира.

6. Прогноз, добыча и химические технологии переработки критически важного минерального сырья для создания высокотехнологичной продукции. Доклад академика РАН Алдошина С.М. (по результатам Стратегической сессии Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию, Отделения химии и наук о материалах РАН и Отделения наук о Земле РАН, с участием Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и Министерства природных ресурсов Российской Федерации).

Решение наиболее актуальной на сегодняшний день государственной задачи - достижение технологического суверенитета России не может быть осуществлено без прочной опоры на отечественное минеральное сырье. Для этого необходимо восстанавливать и развивать добывающие отрасли в России.

Промышленность России сильно зависит от импортных поставок, а по отдельным позициям эта зависимость достигает 100%. Несмотря на это, многие отечественные месторождения стратегического минерального сырья, критически зависимого от импорта, не разрабатываются в связи с низкой рентабельностью. Анализ, выполненный Научным советом РАН по материалам и наноматериалам и Межведомственным советом РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию, показал, что Россия может полностью заместить импорт стратегического минерального сырья за счет развития собственной минерально-сырьевой базы. Для решения этих проблем необходима работа по всем этапам, включая поиск и разведку новых месторождений, разработку новых прорывных технологий обогащения, извлечения и переработки минерального сырья, создание конкурентоспособного производства особо чистых редких металлов. Ученые РАН имеют результаты мирового уровня по всем направлениям и должны внести решающий вклад в достижение технологического и сырьевого суверенитета.

Президент Российской Федерации поручил Правительству Российской Федерации с участием Российской академии наук и Госкорпорации «Росатом» определить приоритеты развития минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых и подготовить предложения по разработке и реализации федеральной научно-технической программы, направленной на обеспечение комплексного сопровождения геологоразведочных работ, добычу и промышленную переработку твердых полезных ископаемых, а также ускоренное замещение импортных технологий и оборудования российскими аналогами.

Российская академия наук во взаимодействии с министерствами и Госкорпорацией «Росатом» разработала проект федеральной научно-технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы на основе технологий прогноза, поисков, геологоразведки, добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения

для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации». Задачи программы – определение приоритетов развития минерально-сырьевой базы на долгосрочную перспективу, комплексное сопровождение геологоразведочных работ, добычи, обогащения и промышленной переработки твердых полезных ископаемых, а также ускоренное замещение импортных технологий и оборудования российскими аналогами. Разработка и реализация программы предполагает не только создание технологий от стадии прогноза и поиска месторождений до глубокой переработки высокотехнологичных видов сырья, но также и разработку, и запуск производства отечественного оборудования, подготовку кадров и, что не менее важно, формирование и развитие устойчивого поступательно растущего внутреннего спроса на получаемую продукцию высоких переделов.

Российская академия наук видит свою задачу в объединении исследований ведущих научных и производственных организаций:

- по разработке и производству отечественной аппаратуры для полевых и лабораторных геологических, геохимических и геофизических исследований;

- по расширению работ по поиску и разведке новых месторождений на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке;

- по разработке и промышленному производству отечественного оборудования для проведения подземных работ, в том числе в стесненных условиях и с применением безлюдных технологий;

- по созданию и промышленному производству высокоэффективных отечественных флотореагентов, экстрагентов и сорбентов для обогащения и селективного извлечения стратегических металлов, и нового отечественного оборудования для обогащения руд;

- по разработке новых технологий добычи, в том числе замкнутых схем обращения минерального вещества в недрах с выдачей на поверхность только товарной продукции;

- по созданию экологически безопасных технологий извлечения стратегических металлов из комплексных руд сложного вещественного состава, выделения ценного сырья из гидроминеральных и техногенных источников;

- по созданию опытно-промышленных обогатительных установок для апробации разработанных в РАН инновационных технологий обогащения, разделения и извлечения стратегических металлов.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. В целях исполнения поручения Президента Российской Федерации от 28 июня 2022 г. № Пр-1130 об определении приоритетов развития минерально-сырьевой базы на долгосрочную перспективу, комплексному сопровождению геологоразведочных работ, добычи, обогащения и промышленной переработки твердых полезных ископаемых, а также ускоренного замещения импортных технологий и оборудования российскими аналогами считать необходимым ускорить утверждение и начало реализации федеральной научно-технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы на основе технологий прогноза, поисков, геологоразведки, добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

2. Включить в государственные задания институтов РАН проекты по изучению фундаментальных закономерностей размещения месторождений стратегического сырья и минерального состава руд, разработке технологий, разведке, добыче и обогащению; по прогнозу спроса и потребления стратегических металлов.

3. Координировать исследования ведущих научных и производственных организаций в процессе выполнения федеральной научно-технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы на основе технологий прогноза, поисков, геологоразведки, добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

4. В целом для обеспечения высокотехнологичной промышленности России химической продукцией и новыми материалами в условиях больших вызовов необходима федеральная научно-техническая программа «Обеспечение продуктами средне-, мало- и микро-тоннажной химии и новыми материалами производства системно значимых видов высокотехнологичной продукции», цель которой – получение высокой социально-экономической отдачи для страны за счет развития высокотехнологичной современной промышленности России по производству инновационной химической продукции и материалов. Разработка и реализация этой программы предполагает не только создание технологий от получения промежуточных продуктов до глубокой переработки в высокотехнологичные материалы и изделия, но также и создание производства отечественного оборудования и подготовку высококвалифицированных кадров. Также необходимо предусмотреть меры по формированию и развитию устойчиво растущего внутреннего спроса на получаемую продукцию высоких переделов. Для этого необходима реализация в программе проектов полного цикла.

5. Обратиться в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российский научный фонд с предложением о расширении тематики ориентированных (прикладных) научных исследований, финансируемых Российским научным фондом и включении в тематические разделы конкурсов направления «Технологическая независимость химического комплекса России, в том числе, в части малотоннажной химии». Данная тематика является межотраслевой и обеспечивает значимый объем материальной части ВВП.

6. Обратиться в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации с предложением о создании межотраслевого научно-технологического консорциума «Катализаторы» с возложением на него функций головного отечественного исполнителя-координатора в части научных разработок и организации производства отечественных катализаторов, обеспечивающих технологический суверенитет России.

7. Считать необходимым проанализировать существующие и прогнозируемые запасы побочных продуктов крупных химических производств (в частности, серы), не используемых или малоиспользуемых в настоящее время, как альтернативы их поставок по импорту.

7. Достижения российской науки в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации в металлургии и машиностроении. Доклад члена-корреспондента РАН Макарова А.В. (Уральское отделение РАН, Отделение химии и наук о материалах РАН).

Фундаментальные научные исследования являются необходимым этапом при разработке современной авиационной и ракетной техники. Сложность и новизна возникающих научно-технических проблем требуют привлечения широкого круга научных организаций по различным направлениям исследований. И для достижения наилучших результатов роль академических институтов должна неуклонно возрастать.

Выход из строя более 80% изделий машиностроения происходит в результате их поверхностного разрушения при изнашивании, коррозии, эрозии при кавитации, воздействии высоких температур и контактных нагрузок. Усталостные трещины также зарождаются именно на поверхности деталей. В этой связи кратное повышение ресурса деталей, узлов и механизмов нередко достигается применением эффективных способов модифицирования поверхности. Для обеспечения технологического суверенитета в этой области перспективно развитие передовых отечественных лазерных технологий создания сверхтвердых, износостойких и антифрикционных покрытий и легированных слоев при реализации новых научных подходов к формированию их особого структурно-фазового состояния и уникальных свойств.

Металлургия – это основная, системообразующая отрасль промышленности Российской Федерации. Без нее невозможно решение ни одной из стратегических задач государственной политики, начиная с медицины и здравоохранения, заканчивая машиностроением, авиакосмическим сектором и национальной безопасностью. Последние десятилетия произошло стремительное обновление основных фондов российских металлургических предприятий. Ведущие роли в модернизации играли западные компании, поставлявшие современные технологии и оборудование. Российские предприятия остались без поддержки со стороны государства, регулятивных органов и как следствие потеряли и рынки, и во многих случаях компетенции.

Санкции оказали существенное влияние на российскую металлургию, но она смогла перестроиться. Следует отметить, что металлургическая отрасль не замедлила как темпы производства, так и не остановила инвестиционные проекты, направленные на повышение эффективности, качества, экологичности и выпуска новых видов продукции. Были найдены новые рынки для экспорта продукции, выстроены новые логистические цепочки поставок, заработал параллельный импорт для ввоза необходимых товаров через третьи страны. Однако, после ухода западных поставщиков намечается активная интервенция со стороны китайских компаний, что также несет огромные риски в долгосрочной перспективе.

Опыт показывает, что у России есть возможность восстановить и возродить утраченные компетенции. Стратегически важными задачами по обеспечению национальной безопасности Российской Федерации в области сталелитейной промышленности являются разработки материалов и технологий изготовления и ремонта кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), которые реализуют более 96% мирового объема производства стали. В России разработана и практически применена инновационная технология восстановительного ремонта и производства новых стенок кристаллизаторов МНЛЗ с износостойкими композиционными покрытиями. В результате успешного применения технологии на основных металлургических предприятиях России доля зарубежных слябовых кристаллизаторов снижена с 97% в 2012 году до 40%. При этом нерешенными остаются актуальные задачи восстановления медных стенок кристаллизаторов

после достижения ими минимально допустимой толщины, разработке новых технологий материалов и технологий для дальнейшего повышения их эффективности с применением перспективных технологических процессов, таких как лазерные и фрикционные обработки, сварка трением с перемешиванием. Перспективные базовые наукоемкие технологии невозможно купить, их можно только создать и развивать. Особая роль РАН заключается в создании российских центров компетенций по разработке новых материалов и технологий для нужд тяжелого машиностроения и металлургии, в частности. Это позволит обеспечить научно-технологический суверенитет по критичной для национальной безопасности базовой отрасли промышленности России.

Осознавая критически значимые вызовы, которые стоят сегодня перед российским обществом, Российская академия наук подтверждает свою устремленность к решению важнейших задач развития и укрепления технологического суверенитета страны, проблем продовольственной безопасности, импортозамещения в машиностроении, металлургии и других отраслях хозяйственного комплекса, наращивания ресурсной обеспеченности экономического развития, получения нового фундаментального знания для развития медицинских технологий и системы здравоохранения, защиты и сохранения окружающей среды.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Отметить, что фундаментальные научные исследования являются необходимым этапом при разработке современной авиационной и ракетной техники; сложность и новизна научно-технических проблем, возникающих при разработке газотурбинных двигателей нового поколения и многоразовых ракет-носителей, требуют привлечения широкого круга научных организаций по различным направлениям исследований; для достижения наилучших результатов роль академических институтов должна неуклонно возрастать.

2. Поддержать в качестве приоритетного направления разработку технологий получения композиционных материалов на основе углепластика для изготовления баков для криогенных компонентов топлива многоразовых ракет-носителей и других ответственных применений. Указать на целесообразность выделения направления по разработке технологий создания емкостей из полимерных композиционных материалов в отдельную государственную программу для обеспечения комплексного развития и широкого внедрения в различные отрасли Российской Федерации.

3. Поддержать создание в РАН научно-технологических центров (по типу инжиниринговых центров с целевым финансированием) в интересах госкорпораций и предприятий, определяющих технологический суверенитет Российской Федерации (АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь; АО «ГРЦ Макеева», г. Миасс и др.).

4. Поддержать развитие передовых наукоемких технологий и материалов поверхностного модифицирования для увеличения ресурса промышленного оборудования. Отметить особые перспективы применения короткоимпульсной лазерной обработки для получения керамических покрытий с уникальными характеристиками прочности, износостойкости и сверхнизким коэффициентом трения скольжения.

5. Отметить целесообразность отказа от импортной технологии производства стенок кристаллизаторов МНЛЗ с гальваническими покрытиями и перехода на

более прогрессивную российскую инновационную технологию восстановительного ремонта и производства новых стенок с износостойкими композиционными покрытиями. Для решения актуальной задачи восстановления толщины медных стенок кристаллизаторов после эксплуатации и ремонтов перспективно использование современного экологичного способа многопроходной плоскостной сварки трением с перемешиванием. Применение для восстановления медных плит двух указанных российских технологий обеспечит практически бесконечный цикл эксплуатации кристаллизаторов и исключит потребность в импорте кристаллизаторов. Это позволяет обеспечить технологический суверенитет по критичному переделу производства стали в России, а также по безопасности.

6. Отметить необходимость производства в России технологических коротковолновых лазеров видимого диапазона с длиной волны менее 0,55 мкм для наплавки медных сплавов, короткоимпульсных нано- и миллисекундных лазеров для формирования сверхтвердых, износостойких и антифрикционных покрытий и легированных поверхностных слоев, а также комплексов для лазерной ударной обработки с целью повышения усталостной долговечности деталей (в том числе лопастей лопаток компрессора авиадвигателя нового поколения).

7. Указать на целесообразность создания в РАН (академических институтах) российских центров компетенций по развитию передовых наукоемких технологий, в частности, по разработке новых материалов и технологий для нужд тяжелого машиностроения и металлургии, определяющих технологический суверенитет России (лазерные технологии, технологии сварки трением с перемешиванием и др.).

8. Отметить, что академическое сообщество, активно работая и находясь в постоянном контакте с ведущими учеными мира, владеет ценной информацией о тенденциях развития современной науки и передовых технологий. Поэтому при принятии решений о создании новой техники, разработке и внедрении в серийное производство технологий мирового и опережающего мировой уровня важно учитывать квалифицированное мнение членов РАН и академических институтов, особенно положительно зарекомендовавших себя в соответствующих направлениях. РАН готова обсудить с Правительством Российской Федерации формы реализации этого предложения.

8. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Доклад академика РАН Семенова В.А., академика РАН Бондура В.Г., академика РАН Мохова И.И., члена-корреспондента РАН Макоско А.А., профессора РАН Елисеева А.В. (Отделение наук о Земле РАН), академика РАН Порфирьева Б.Н. (Отделение общественных наук РАН), профессора РАН Грицуна А.С. (Отделение математических наук РАН).

Изменение климата является одной из важнейших комплексных междисциплинарных проблем XXI века, охватывающей экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации. Это обуславливает необходимость учета изменения климата в качестве одного из ключевых долгосрочных факторов национальной безопасности и устойчивого развития Российской Федерации, ставит эту проблему в число приоритетов политики страны.

Современные значения глобальной приповерхностной температуры являются рекордно высокими, как минимум, за последние два тысячелетия, согласно данным палео-реконструкций. Принципиально важно, что наблюдаемые за последнее сто-

летие темпы роста температуры в несколько раз превышают скорость изменений за аналогичные промежутки времени в последнее тысячелетие. При потеплении климата увеличивается число экстремальных погодно-климатических явлений.

Рост температуры на территории Российской Федерации происходит в 2,5 раза более быстрыми темпами, чем в среднем по планете. Площадь морских льдов летом в Арктике за последние десятилетия уменьшилась более чем на 40%. Огромная протяженность территории России обуславливает существенные различия тенденций изменений климата в разных регионах. Трансформация ландшафтов, заболачивание, быстрое разрушение берегов Российской Арктики при потеплении - в числе важных последствий изменений климата. Третий оценочный доклад Росгидромета 2022 года указывает, «что разогрев атмосферы, океана и суши произошел под влиянием человека». Причиной потепления является усиление так называемого «парникового эффекта» вследствие увеличения содержания парниковых газов в атмосфере, в том числе вследствие сжигания человеком ископаемого топлива. Вместе с тем, следует заметить, что так называемая «климатическая повестка» в последнее время активно используется западными странами как инструмент сдерживания экономического развития в отношении ресурсодобывающих стран.

В Российской Федерации изменения климата имеют как негативные, так и позитивные последствия. К числу значимых негативных последствий относятся ущерб от опасных погодно-климатических явлений, участвовавших при глобальном потеплении, деградация «вечной мерзлоты» и риски для построенной на многолетнемерзлых грунтах инфраструктуры, влияние на здоровье населения во время волн жары. К положительным последствиям можно отнести увеличение срока безледной навигации по Северному морскому пути и облегчение добычи полезных ископаемых на арктическом шельфе, рост стока северных рек, как источника пресной воды и гидроэнергии, снижение холодового стресса, сокращение отопительного сезона, повышение урожайности сельскохозяйственных земель.

В области адаптации населения и экономики страны к изменениям климата в последние годы принят ряд важных государственных решений. Разработаны основы методологии оценки и учета климатического воздействия, приняты необходимые решения на правительственном, региональном и муниципальном уровнях. В марте 2023 г. принят национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года, включающий мероприятия по созданию наукоемких технологических решений, направленных на изучение климата. Следует отметить, что в данном направлении важен упреждающий подход к снижению опасности на основе научно-обоснованных оценок и решений по управлению рисками, разработке систем заблаговременного предупреждения.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Главными задачами, стоящими в настоящее время перед наукой о климате и имеющими важное практическое значение, считать следующие:

- разработку прогностических сценариев изменений климата с высокой детальностью и оценкой их неопределенности на горизонте 20-50 лет;
- региональные прогностические расчеты климатических изменений с учетом внутренней изменчивости климата на ближайшие 10-20 лет;

- мониторинг состояния климата;
- оценку рисков опасных погодно-климатических явлений, сезонную и межгодовую предсказуемость погодно-климатических аномалий;
- оценку последствий изменений климата для окружающей среды и человека;
- разработку научно-обоснованных мер по адаптации к изменениям климата.

2. Для решения вышеуказанных задач реализовать фундаментальные исследования механизмов изменчивости климата на разных пространственных и временных масштабах, выявление относительной роли антропогенных факторов, внутренней естественной изменчивости и внешнего естественного воздействия в прошлых и современных изменениях климата. Необходимо создание новых и совершенствование существующих глобальных численных моделей Земной системы и региональных моделей климата, синтез климатического моделирования и моделирования экономических процессов. Требуется развитие методов прогноза погоды и климата на разных временных масштабах, методов диагностики и статистического анализа данных наблюдений и результатов численного моделирования. Критически важно получать инструментальные данные о состоянии Земной системы, в том числе океанографические данные, дистанционные данные спутникового мониторинга, развивать сеть станционных наблюдений, совершенствовать методы получения и обработки инструментальных данных.

3. Для решения актуальных прикладных и фундаментальных задач в области изменений климата усилить взаимодействие и объединить усилия Росгидромета и РАН, часто работающих над общими проблемами, в том числе прогноза погоды и климата. Этому может способствовать создание межведомственного климатического центра Росгидромета и РАН с определением основных направлений и координацией работ по этим направлениям.

4. Считать критически важным качественное расширение суперкомпьютерных ресурсов, доступных для климатических исследований. Создание такого центра под руководством РАН позволило бы существенно активизировать научные исследования и получать более детальные и достоверные результаты в области диагностики и прогнозирования изменений климата.

5. Поддерживать и развивать ведущие научные школы в области физики атмосферы, океана, климата. Усиливать взаимодействие институтов РАН с профильными кафедрами вузов, обеспечить приток новых квалифицированных молодых ученых и обеспечить их поддержку.

6. Увеличить финансирование экспедиционных исследований, в том числе морских экспедиций, развивать существующие и создавать новые научные стационары, занимающиеся наблюдениями за климатическими процессами.

7. Отметить успешный опыт организации мульти-дисциплинарных исследований в области климата в рамках Программы фундаментальных исследований президиума РАН «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования». Возобновление этой Программы с определением новых задач и участников под эгидой Научного совета РАН по проблемам климата Земли будет способствовать координации исследований, усилит взаимодействие и позволит сформулировать и решить новые задачи в области изменений климата и адаптации к ним.

9. Структурно-технологические сдвиги и модернизация экономики России (средне- и долгосрочные перспективы). Доклад академика РАН Порфирьева Б.Н., члена-корреспондента РАН Широва А.А. (Отделение общественных наук РАН).

РАН выделяет качество жизни населения как фактор развития российской экономики: демография, занятость, образование. Отмечается наличие негативного демографического тренда и, как следствие, рост напряжения на рынке труда.

В условиях развернутых против России санкций на первый план выдвинулась задача поддержания технологического суверенитета и национальной экономической безопасности. Решение этой задачи только путем роста объемов производства отечественной продукции, импортозамещения и локализации зарубежного высокотехнологичного импорта невозможно. Необходимы научно-технологические прорывы и формирование технологических заделов, что требует подхода к указанному решению с позиций долгосрочной перспективы и долгосрочных национальных интересов в научно-технологической сфере. По оценкам экспертов, российский научный комплекс находится на относительно высоком восьмом месте среди ведущих стран (2020 г.), но показатели инновационного развития нашей экономики существенно ниже среднемировых.

Несмотря на стагнацию относительного уровня НИОКР к ВВП, удельный вес научно-технологического комплекса России в последние десятилетия постепенно повышался. Доля сектора «Наука и технологии» в ВВП России за 11 лет увеличилась, достигнув в 2022 году значения 12,8%, в основном за счет высоко- и средне-технологичных секторов экономики, ИТ и проектных работ. Доля вклада в ВВП секторов науки и образования, к сожалению, стагнирует, хотя увеличивался их качественный эффект.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Разработать предложения по повышению качества жизни сельского населения, включая меры по диверсификации сельской экономики; провести общероссийский мониторинг, нацеленный на выявление уровня субъективного благополучия.

2. Необходимость комплекса мер в рамках следующих стратегических направлений действий: поддержка государством научных исследований и ученых; совершенствование системы управления наукой и инновациями; развитие региональной науки, науки и территорий с высоким научно-техническим потенциалом; развитие прикладной и корпоративной науки; поддержка частного высокотехнологичного бизнеса. Учитывая сферу деятельности РАН, считать приоритетными следующие предложения, относящиеся к первым трем из перечисленных выше направлений:

2.1. Поддержка научных исследований и ученых:

– поддержка статуса ученого, инженера и повышение уважения и доверия к науке и к РАН, возвращение ей более активных управленческих функций в отношении институтов РАН и организации научных исследований через развитие института научно-методического руководства;

– увеличение бюджетных и частных расходов на НИОКР к 2030 году до 3-3,5% ВВП;

– переход, не позднее 2025-2027 годов, от региональной дифференциации оплаты труда ученых к системе оплаты, конкурентоспособной по сравнению с развитыми странами и ориентированной на достижение соотношений, принятых

в ведущих зарубежных научных организациях (по отношению к средней заработной плате);

- увеличение, начиная с 2024 года, размера стипендии аспирантам и ординаторам (не менее МРОТ), а наиболее талантливых будущих молодых ученых – до среднемесячной заработной платы;

- развитие программы льготной ипотеки для специалистов и инженерно-технических кадров, занятых приоритетными научно-технологическими проектами.

2.2. Совершенствование системы управления наукой и инновациями:

- формирование постоянно действующего общегосударственного органа для координации действий различных федеральных органов власти в формате Бюро или Комитета по науке и технологиям (аналог Государственного комитета по науке и технике), который мог бы выполнять операционную управленческую работу в том числе в качестве аппарата правительственной Комиссии по научно-технологическому развитию;

- формирование госкомпаниями запросов на разработку перспективных фундаментальных и поисковых исследований с целью создания научно-технических заделов, в формате государственных заданий для академической науки, университетов и государственных научных центров;

- докапитализация институтов развития, направленных на финансирование и развитие научно-технологических разработок и инноваций, включая «РОСНАНО»; расширение функционала Фонда перспективных исследований на проведение ОКР для выхода разработок на стадию получения опытно-промышленных образцов;

- перезапуск системы венчурных фондов компаний с государственным участием, в координации с Фондом НТИ как Фондом фондов, смещение фокуса венчурных инвестиций в сторону более капиталоемких высокотехнологичных секторов – БПЛА, новых материалов, уникального станкостроения, микроэлектроники и электронного машиностроения, биотехнологий и медицинской техники, фотоники и робототехники и др.

2.3. Развитие региональной науки и территорий с высоким научно-техническим потенциалом:

- расширение функционала региональных отделений РАН в части планирования исследований и бюджетов региональных институтов РАН для реализации проектов, ориентированных на текущие и перспективные потребности экономики и социальной сферы регионов и макрорегионов;

- увеличение объема существующих субсидий для наукоградов, замена нормативов подушевого финансирования на показатели эффективности реализации программ развития наукоградов и индикаторы технологического развития;

- выделение для наукоградов дополнительных средств на строительство служебного и арендного жилья для ученых и специалистов, а также сотрудников высокотехнологичных компаний-резидентов;

- создание комфортной городской среды через приоритетное участие наукоградов в профильных нацпроектах и госпрограммах, в том числе нацпроектах «Жилье и городская среда», «Безопасные и качественные автомобильные дороги» и др.;

- наделение дополнительными полномочиями органов местного самоуправления наукоградов в части поддержки и развития инновационной и научно-технической деятельности;

– восстановление мер господдержки инновационных территориальных кластеров, позволяющее обеспечить скоординированное развитие предприятий-смежников, научных и образовательных организаций, обеспечить запуск кооперационных проектов в области НИОКР.

Перестройка системы управления научно-технологическим развитием, создание постоянно работающего координирующего органа научно-технологического развития по всему циклу исследований, разработок и инноваций, повышение частного и государственного финансирования НИОКР как минимум до 2,5-3% ВВП может поднять Россию в мировом научном рейтинге с восьмого на 4-5 место и способствовать переходу российской экономики на путь инновационного наукоемкого развития.

3. Считать необходимым представить в Правительство Российской Федерации предложения по основным проблемам научно-технологического развития страны:

– восстановлению Российской академии наук как высшей научной организации страны, отвечающей за развитие фундаментальных научных исследований; проводящей научную экспертизу важнейших государственных документов, решений и программ; участвующей в формировании и реализации государственной научно-технической и инновационной политики;

– обеспечению качественного роста влияния Российской академии наук на процессы инициации, обсуждения и принятия стратегических решений на всех уровнях управления;

– укреплению связи науки и производства путем организации постоянного взаимодействия тематических и региональных отделений РАН с отраслевыми и территориальными бизнес-ассоциациями;

– разработке новых эффективных форм организационной структуры системы поддержки науки, экономики и промышленности с учетом качества отбора проектов;

– обеспечению контроля за системной сбалансированностью экономики, в частности, в целях преодоления диспаритета проектного, среднего, процессного и объектного секторов экономики;

– ограничению неконтролируемого роста бюрократизации в сфере науки и образования;

– обеспечению принятия обновленного федерального закона о науке.

10. Трансформация мирового порядка: экономика и технологии. Доклад академика РАН Дынкина А.А. (Отделение глобальных проблем и международных отношений РАН).

Доклад посвящен анализу трансформации мирового порядка с учетом глобальных экономических и технологических трендов. В докладе содержится новаторский подход, связанный со сравнительным анализом тенденций многополярности и новой биполярности, развивающий идеи академика РАН Е.М. Примакова. В числе рассматриваемых трендов: динамика экономической мощи государств, балансы стратегических и тактических ядерных сил, экономика технологического прогресса, демография, идеологии. Рассмотрено формирование новых институтов пост-однополярного мира.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Принять к сведению основные положения доклада.

2. Поручить Отделению глобальных проблем и международных отношений РАН продолжить исследования актуальных, фундаментальных проблем положений доклада.

3. Сосредоточить усилия РАН на научном обосновании и рекомендациях по социально-экономическому, научно-технологическому и политическому развитию стран ЕАЭС, БРИКС, G20, ШОС и других ведущих субъектов международных отношений.

4. Уделять особое внимание укреплению научно-образовательных связей с Республикой Индия (Бхарат).

11. Приоритетные технологии развития агропромышленного комплекса Российской Федерации. Доклад академика РАН Лобачевского Я.П. (Отделение сельскохозяйственных наук РАН).

Развитие фундаментальных исследований в области агропромышленного комплекса Российской Федерации является необходимым условием для создания новых ресурсосберегающих, энергоэффективных, экологически чистых технологий и технических средств в растениеводстве и животноводстве с целью обеспечения продовольственной безопасности страны, научно-технологического развития, обеспечения населения качественными отечественными продуктами питания.

Развитие агропромышленного комплекса России происходит в условиях острых геополитических и социально-экономических противоречий, в итоге принят курс на импортозамещение и технологический суверенитет. Продовольствие становится конвертируемым активом, который обеспечивает стабильность внутри страны и мощное влияние на внешние рынки. Валовой годовой сбор зерна стабильно достигает высоких значений до 130-140 млн тонн. Российская Федерация экспортирует продовольствие более чем в 140 стран мира, при этом валютная выручка достигает 47 млрд долларов в год. Внедрение результатов фундаментальных и прикладных научных исследований ученых Российской академии наук позволило существенно продвинуться в решении проблемы импортозамещения и технологической независимости на внутреннем рынке продовольствия.

В докладе дан анализ достижений отечественной фундаментальной науки по проблемам эффективного использования земли, предотвращения деградации почв и повышения их плодородия; создания новых конкурентоспособных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, пород, кроссов животных и птиц; биопрепаратов, средств защиты растений и животных; автоматизированных и роботизированных технологий и технических средств сельскохозяйственного назначения; создания функциональных пищевых продуктов, реализации концепции здорового питания, создания эффективных экономических моделей развития агропромышленного комплекса страны. Особое внимание уделено развитию современных методов исследований с использованием цифровых технологий, искусственного интеллекта, нейронных сетей. Проведение фундаментальных и поисковых научных исследований в области сельского хозяйства стало междисциплинарной проблемой, решением которой занимаются ученые из области сельскохозяйственных, математических, физических, химических, биологических, экономических наук.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Отделению сельскохозяйственных наук РАН обеспечить: дальнейшее сохранение и развитие генофонда сельскохозяйственных растений и животных, эффективных штаммов микроорганизмов; развитие генетических технологий с целью создания высокоурожайных конкурентоспособных сортов и гибридов, высокопродуктивных пород, типов, кроссов и форм; разработку сортовых технологий возделывания сельскохозяйственных растений, систем охраны здоровья, содержания и кормления животных; создание вакцин и биопрепаратов, средств защиты растений, роботизированных технологий и технических средств нового поколения, качественных и безопасных продуктов питания.

2. Разработать предложения по тематике научных исследований, направленных на ускоренное развитие генетических технологий на период до 2030 года.

3. Принять меры по формированию кадрового потенциала в сфере научных исследований, повышения профессиональных компетенций ученых и специалистов.

12. Роль Российской академии наук в технологическом развитии медицины. Доклад академика РАН Стародубова В.И.

Важным фактором продвижения результатов медицинской науки в здравоохранении является четкое понимание состояния уровней готовности выполняемых работ. В клинической практике сложилась четкая система продвижения результатов научных исследований в практическое применение. Данная система предусматривает фундаментальные исследования, направленные на сохранение здоровья или продолжительности жизни человека, с последующим обсуждением результатов данных достижений в 50 комиссиях по клиническим рекомендациям, и после одобрения в этих комиссиях данных подходов, утверждение Министром здравоохранения Российской Федерации клинических рекомендаций, которые затем становятся обязательными для применения в Российской Федерации. В 2023 году было выдано 1202 клинические рекомендации.

Реальным признанием достижений медицинской науки является присуждение Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий, которую три года (2020, 2021, 2023) получают члены Отделения медицинских наук РАН.

Непростая ситуация сложилась с обеспечением отечественными лекарственными средствами и изделиями медицинского назначения. Так, в структуре розничного рынка жизненно необходимых важнейших лекарственных препаратов в 2023 году в денежном выражении доля отечественных препаратов составила 39%, а импортных – 61%. Доля российских медицинских изделий составила 25%. Вместе с тем в 2022 году было зарегистрировано лекарственных препаратов отечественного производства в 3,5 раза больше, чем в 2020 году. Количество регистрационных удостоверений, полученных российскими производителями, на 2023 год составляет 1325 шт., а импортных – 454 шт. Это связано с тем, что существует разрыв между сферой исследований и производством. Если проведение НИР и ОКР регулируется федеральными органами исполнительной власти (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Роспотребнадзор, Росздравнадзор) и сфера ответственности регулируется Министерством промышленности и торговли Российской Федерации, то за трансфер технологий ответственности не несет ни один федеральный орган. В рам-

ках исследований практические результаты получаются только при наличии опытно-промышленной базы у соответствующих организаций.

В клиническую практику входят передовые методы высокотехнологичной нейрореабилитации, в том числе с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности, нейропротезирования, интерфейсов мозг-компьютер, а также клеточная и генная терапия, новые методы лучевой и лабораторной диагностики заболеваний нервной системы, технологии неинвазивной нейрохирургии, персонализированные подходы к лечению заболеваний нервной системы.

Прорывные достижения, обеспечивающие национальный технологический суверенитет Российской Федерации в области нейротехнологий, могут быть достигнуты только при обеспечении междисциплинарного взаимодействия клинических и фундаментальных нейронаук, включая нейробиологию, нейрогенетику, нейрофизиологию и другие области знания, с точными, естественными и гуманитарными науками – математикой, физикой, химией, материаловедением, инженерными науками и др.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Создать единый ландшафт прикладных медицинских научных исследований. Снять барьеры на пути внедрения разработок в медицину. Создать среду для взаимодействия разработчиков и индустрии.

2. Подготовить предложение по организации малотоннажного производства химических веществ для производства диагностиков и лекарственных средств.

3. Совместно с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, Министерством здравоохранения Российской Федерации и Министерством промышленности и торговли Российской Федерации подготовить предложения по созданию опытно-промышленных цехов на базе институтов фармацевтического и биотехнологического профилей.

4. При формировании планов НИР на 2024-2026 гг. акцентировать внимание на выполнение работ по критическим проблемам лекарственных средств и изделий медицинского назначения.

5. Отделению медицинских наук РАН, Отделению химии и наук о материалах РАН, Отделению биологических наук РАН обсудить и дать предложение о междисциплинарном сотрудничестве.

6. Создать рабочую группу по подготовке программ по антибиотикорезистентности. Разработать систему мониторинга распространенности резистентных штаммов и генетических детерминант резистентности с использованием интерактивной базы данных.

7. Рекомендовать Министерству науки и высшего образования Российской Федерации стимулировать разработку новых и заимствованных высоких биомедицинских технологий, лекарственных препаратов и медицинских изделий путем организации конкурса Приоритет-2030 для научных организаций.

8. Рекомендовать Министерству науки и высшего образования Российской Федерации рассмотреть клиники медицинских научных организаций как ключевой уникальный инструмент трансфера новых биомедицинских технологий, требующий дополнительной технологической и инфраструктурной поддержки.

9. Рекомендовать Министерству промышленности и торговли Российской Федерации регламентировать более короткие процедуры и упрощенные схемы реги-

страции для заимствованных и новых медицинских технологий и медицинских изделий на период особых условий в стране.

13. Отечественные методы исследований в диагностике и лечении онкологических заболеваний. Доклад академика РАН Каприна А.Д. (Отделение медицинских наук РАН).

В 2023 году в онкологической науке и практике прочно закрепился междисциплинарный подход в реализации поставленной Президентом Российской Федерации цели по достижению средней продолжительности жизни в 78 лет. Учитывая рост показателей средней продолжительности жизни, достигнутого снижения показателя смертности от рака, ключевыми вызовами на ближайшие несколько лет станут старение населения и рост нагрузки на систему здравоохранения, высокая территориальная и гендерная дифференциация, высокая скорость научных разработок и необходимость их внедрения в практическое здравоохранение по всей стране.

В данных условиях на первый план выходят вопросы профилактики и раннего выявления онкологических заболеваний; особое внимание направлено на создание современных систем диагностики рака в сотрудничестве с химиками, биоинформатиками, физиками, математиками. Речь идет о внедрении технологий искусственного интеллекта в системы скрининга; разработке и развитии новейших подходов молекулярно-генетической диагностики; разработке и производстве отечественных радиофармацевтических препаратов для диагностики и лечения рака.

В лечении онкологических заболеваний все более укрепляется персонифицированный подход. Наблюдается прирост фармакологических разработок в области онкологии: клеточная терапия, CAR-T и NK клеточная терапия, мРНК-вакциноterapia, онколитическая терапия. Ведутся разработки в области «редактирования» генов и генной терапии. Отдельного внимания заслуживает развитие биоинформатики и технологии машинного обучения, работа с Data Lake; создание платформы поддержки принятия персонализированных врачебных решений и разработка нейросетевого алгоритма на основе искусственного интеллекта.

Актуальным остается вопрос производства российских образцов медицинской техники. В настоящий момент завершается наладка медицинского комплекса нейтронной терапии. Одной из основных задач можно считать продуктивное формирование творческих междисциплинарных коллективов различных исследовательских институтов для продвижения прорывных технологий от гипотезы к реализации.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

Считать приоритетными следующие направления деятельности Российской академии наук:

1. Повышение роли РАН в инициировании и координации профильных фундаментальных исследований, обеспечивающих основания для разработки приоритетных проектов развития инновационных фармакологических разработок в области онкологии: генная терапия, клеточная терапия, CAR-T и NK клеточная терапия, мРНК-вакциноterapia, онколитическая терапия.

2. Активизация работы отделений по фундаментальным и прикладным исследованиям в разработке современных систем ранней диагностики рака; в развитии

технологий искусственного интеллекта в системе скрининга; разработке новых биоинформатических подходов в молекулярно-генетической диагностике; в разработке новых радиофармацевтических и биотехнологических лекарственных препаратов для диагностики и лечения рака.

3. Активное проведение значимых для государственной политики Российской Федерации исследований, направленных на цифровую трансформацию отрасли здравоохранения; разработку и производство отечественных образцов тяжелой техники.

4. Формирование объединенных творческих коллективов и лабораторий межведомственного подчинения для создания идей, направлений и конечного продукта прорывных технологий и их тиражирование в практику.

14. Биобезопасность: эпидемиологические, клеточные, генетические и эпигенетические аспекты. Доклад академика РАН Акимкина В.Г. (Отделение медицинских наук РАН), академика РАН Зверева В.В. (Отделение медицинских наук РАН), академика РАН Кирпичникова М.П. (Отделение биологических наук РАН), академика РАН Свердлова Е.Д., академика РАН Стародубова В.И. (Отделение медицинских наук РАН) академика РАН Янковского Н.К. (Отделение биологических наук РАН).

XXI век ознаменовал собой эпоху глобальных перемен, но, несмотря на все достижения мировой науки, проблемы инфекционной патологии не утрачивают своей актуальности. Распространенность многих инфекционных заболеваний, благодаря усилиям ученых, постепенно снижается. В то же время природа ставит новые, все более сложные задачи, которые предстоит решить мировому научному сообществу.

Пандемия новой коронавирусной инфекции наглядно продемонстрировала миру его уязвимость. Очевидно, что именно своевременная и точная диагностика инфекционных заболеваний в сжатые сроки является в наше время важнейшим условием эпидемиологического благополучия населения. Учитывая это, в целях реализации Концепции технологического развития Российской Федерации (распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р), нашей стране необходима система биобезопасности, основанная на быстром внедрении инноваций в области медицинских, биотехнологических, химических и информационных технологий. Направления науки «Эпидемиология», «Биологическая безопасность» и ее подраздел «Генетическая безопасность» являются остро актуальными и необходимыми для обеспечения национальной безопасности России и заслуживают придания им статуса самостоятельных научных направлений.

РАН предлагает предусмотреть формирование раздела «Инженерная биология: фундаментальные и ориентированные научные исследования» в Федеральной целевой программе «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2020-2025 годы)», а также предусмотреть актуализацию и ее продолжение на 2026-2030 годы для разработки средств диагностики, терапии и профилактики инфекционных заболеваний вирусной этиологии у человека и животных, основанных на сочетании мировых достижений и оригинальных отечественных заделов в эпидемиологии, эпигенетике и иммунологии.

РАН считает перспективными научными направлениями в целях обеспечения биобезопасности и технологической независимости Российской Федерации: вне-

дрение и реализацию геномного и эпигеномного эпидемиологического надзора, научные разработки в области создания и совершенствования молекулярно-биологических методов диагностики, профилактики и терапии возбудителей новых и вновь возвращающихся инфекционных болезней, в том числе на основе современных технологий редактирования генома и эпигенома.

Необходимо дополнить существующие методы редактирования генома методами редактирования *in vivo* транскриптома человека. Считать целесообразным подход к подавлению размножения вируса (природного и лабораторного происхождения) в стационарных и полевых условиях как экстренному (от 2-х дней) и профилактическому средству.

Считать целесообразным развитие фундаментальных исследований реакций врожденной иммунной системы на рекомбинантные микроорганизмы, содержащие гены стимуляторов врожденного иммунного ответа, с целью разработки платформ создания универсальных рекомбинантных вакцин, активных против широкого спектра патогенов.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Разработать принципы и внедрить в практику геномный эпидемиологический надзор.

2. Осуществить научные разработки в области создания и совершенствования молекулярно-биологических методов диагностики возбудителей новых и вновь возвращающихся инфекционных болезней, в том числе на основе современных технологий редактирования генома.

3. Разработать средства диагностики возбудителей заболеваний, прогноза его течения исхода, на основе анализа эпигенетических модификаций ДНК.

4. На основе анализа геномов и транскриптомов, вновь появляющихся уровней анализа эпигенетической информации идентифицировать мишени, наиболее перспективные для терапии и профилактики возбудителей заболеваний, в том числе мРНК-мишени, разрушаемые путем РНК-интерференции.

5. Предусмотреть формирование раздела «Фундаментальные и ориентированные научные исследования» в Федеральной целевой программе «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2020-2025 годы)».

6. Разработать платформу создания универсальных вакцин, защищающих человека и животных от широкого спектра патогенов на основе генов природной системы стимуляции врожденного иммунного ответа, путем конструирования рекомбинантных векторных систем, содержащих нужные гены.

15. Биомедицинские нейротехнологии: от изучения живых систем к коррекции патологии нервной системы. Доклад члена-корреспондента РАН Скворцовой В.И. (Отделение медицинских наук РАН) и члена-корреспондента РАН Белоусова В.В. (Отделение физиологических наук РАН).

Нейронауки являются одним из наиболее стремительно развивающихся направлений науки и технологий. Важнейшие вопросы функционирования мозга, механизмы развития нейродегенеративных заболеваний, связь сознания и психических процессов с молекулярно-биологическими процессами остаются не

до конца выясненными. При этом решены они могут быть только при комплексном междисциплинарном подходе, предполагающем участие в исследованиях и разработках представителей точных, естественных, инженерных, гуманитарных наук.

Для изучения механизмов функционирования мозга и патогенеза заболеваний нервной системы важнейшее значение имеют синтетические нейротехнологии: биосенсорика, хемо-, опто- и термогенетика.

Биосенсоры – это генетически кодируемые флуоресцентные зонды, предназначенные для детекции сигнальных молекул и метаболитов в живых клетках и тканях. Сегодня они разработаны для детекции пероксида водорода, глутатиона, NADH, гипохлорита. С их помощью впервые были зарегистрированы патологические волны изменений рН при инсульте, что позволяет приступить к поиску новых эффективных нейропротекторов, действующих в раннем периоде «терапевтического окна» и защищающих ткань мозга от массивной гибели нейронов и глии.

В свою очередь с помощью хемогенетики можно управлять концентрацией ключевых регуляторов метаболических процессов в мозге. Так, применение хемогенетического генератора пероксида водорода на основе дрожжевой оксидазы D-аминокислот позволило установить, что даже небольшой окислительный стресс ингибирует процессы нейрональной пластичности и нарушает сетевую активность нейронов гиппокампа, что является ранними признаками многих нейродегенеративных заболеваний.

Еще одним примером синтетических нейротехнологий является оптогенетика – управление активностью нейронов с помощью светозависимых белков-фоторецепторов из различных одноклеточных организмов. Для преодоления ее существенного ограничения в виде иммунного ответа на появление в организме чужеродного белка существует альтернативная технология – термогенетика, основанная на использовании термочувствительных ионных каналов человека. Встраивая эти каналы в нейроны мозга, можно контролировать их активность с помощью, например, коротких импульсов инфракрасного лазера либо фокусированного ультразвука. На животных показано, что, активируя эти терморецепторы в тормозных нейронах мозга, можно в том числе превентивно купировать распространение волн патологического возбуждения при эпилепсии.

Большой объем важной информации о патогенезе заболеваний нервной системы дают омиксные технологии: генетические, эпигенетические, мультиомиксные исследования. Внедрение полногеномного секвенирования, исследования транскриптомов в единичных клетках способствуют изучению генетических основ «болезней накопления», поиску ранних предикторов и диагностически значимых биомаркеров патологического процесса. Так, в исследованиях на популяционной выборке населения Российской Федерации выявлены 39 полиморфизмов, ассоциированных с болезнью Альцгеймера, определен существенный вклад воспалительной компоненты в патогенез.

Последние десятилетия ознаменованы значительным расширением возможностей инструментальных методов ранней диагностики и терапии заболеваний мозга. Это современные методы нейровизуализации, например, ПЭТ-МРТ, позволяющей совмещать ПЭТ изображения с любыми модальностями высокопольной

магнитно-резонансной томографии. Передовой технологией является фокусированный ультразвук. Уже сегодня при треморе, ассоциированном с болезнью Паркинсона, пациенту, находящемуся в сознании, осуществляют термодеструкцию субталамических ядер промежуточного мозга под контролем МРТ. Потенциал применения фокусированного ультразвука лежит в термодеструкции очагов эпилепсии, глубоких опухолей в мозге, а также для открытия гематоэнцефалического барьера, непроницаемого для множества лекарственных препаратов.

Современные нейротехнологии стали важнейшей частью реабилитации пациентов, перенесших заболевания нервной системы. Это и технологии виртуальной реальности, и «умные» технологии, основанные на биологической обратной связи, которые позволяют в режиме реального времени регистрировать индивидуальные параметры и подстраивать под них реабилитационный сценарий, повышая его эффективность. Вернулись в клинику в современном исполнении технологии «электроцевтики» в виде многоканальной и многомодальной стимуляции головного мозга с помощью транскраниальной электро или магнитной стимуляции, фотостимуляции и др.

Когда нарушенные неврологические функции невозможно восстановить, огромную роль играет нейропротезирование. К нему относятся разработки неинвазивных и инвазивных интерфейсов мозг-компьютер, электродных матриц для нейромодуляции, зрительных и слуховых протезов, нейропротезов конечностей.

В сотрудничестве с госкорпорациями и индустриальными партнерами в Российской Федерации реализуются проекты по разработке нейрореанимационного и нейрореабилитационного оборудования для устранения стрессовых расстройств инфраструктуры; роботизированного ультразвука, способного таргетировать поверхностные области мозга.

Особое значение приобретает разработка инновационных препаратов на основе малых молекул, рекомбинантных белков, моноклональных антител, генотерапевтических препаратов, векторных и конъюгированных вакцин, а также новых радиофармпрепаратов, технологий Иммуно-ПЭТ, Тау-ПЭТ на основе ультра-короткоживущих радионуклидов.

На переднем крае разработки в области регенеративной медицины. Главным технологическим вызовом является создание тканеинженерных конструкций мозга с заданной архитектурой, определенной направленностью и коннективностью аксонов и дендритов, характерной для конкретного участка мозга. В этом направлении развивается биопечать, позволяющая создавать послойные гидрогелевые каркасы и биополимерные адгезивные биодеградируемые скаффолды с направленным расположением волокон.

Можно отметить создание в федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства препарата для терапии спинальной травмы. В доклинических исследованиях комбинированного регенеративного препарата на основе гидрогеля и мезенхимальных стволовых клеток, секретирующих противовоспалительные и трофические факторы, продемонстрировано увеличение эффективности нейромодуляции (имплантация в эпидуральное пространство электродной матрицы и определенный алгоритм нейростимуляции) и скорости восстановления двигательной функции у животных со спинальной травмой.

Таким образом, прорывные достижения, обеспечивающие национальный технологический суверенитет Российской Федерации в области нейротехнологий, могут быть достигнуты только при обеспечении междисциплинарного взаимодействия клинических и фундаментальных нейронаук, включая нейробиологию, нейрогенетику, нейрофизиологию и другие области знания с точными, естественными и гуманитарными науками - математикой, физикой, химией, материаловедением, инженерными и другими направлениями.

Основными направлениями развития должны стать разработка и внедрение синтетических нейротехнологий, развитие нейрогеномики и эпигенетических исследований в разных структурах головного и спинного мозга, создание нейрорегенеративных технологий и клеточной терапии при неврологической патологии, персонализированных подходов к лечению нейроонкологических и нейродегенеративных заболеваний, разработка и внедрение нейрокогнитивных технологий, нейроинжиниринга, нейропротезирования, нейрореабилитации, включая технологии виртуальной и дополненной реальности, искусственного интеллекта. Особое внимание следует уделить развитию и поддержанию научной инфраструктуры в части работы с биологическими образцами, генотерапевтическими вирусами, клетками, развитию и поддержанию сети биобанков, вивариев и обеспечению доступности трансгенных и других линий животных.

На основании материалов доклада, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии, общее собрание членов РАН РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Создать при президиуме РАН Межведомственный научный совет по нейрокогнитивным технологиям с включением в его состав представителей всех заинтересованных отделений РАН по областям и направлениям науки и региональных отделений РАН.

2. Президиуму РАН подготовить предложения по актуализации Федеральной научно-технической программы исследований мозга «Мозг: здоровье, интеллект, инновации».

16. На основании выступлений участников общего собрания членов РАН, и учитывая предложения, высказанные в ходе обсуждения на научной сессии общего собрания членов РАН «Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации» 12-13 декабря 2023 г., а также на общих собраниях членов РАН отделений РАН, общее собрание членов РАН также РЕКОМЕНДУЕТ:

1. Повысить роль научных советов РАН в общей координации расстановки научно обоснованных приоритетов на долгосрочную перспективу в решении проблем импортозамещения с целью создания иерархии потребностей и реальных возможностей по их реализации с учетом действующих и запланированных к вводу технологических мощностей для различных высокотехнологических направлений. В целях совершенствования работы системы научных советов РАН президиуму РАН провести расширенное заседание с участием председателей научных советов РАН, их заместителей и (или) ученых секретарей. На заседании:

- представить итоги прошедших на президиуме РАН в последнее время отчетов руководителей отделений РАН по областям и направлениям науки о работе на-

учных советов РАН, в том числе с целью определения возможности оптимизации системы научных советов РАН (сокращения их числа);

– заслушать информацию о лучших практиках организации работы научных советов РАН;

– заслушать отдельных председателей научных советов РАН с целью обмена опытом и координации усилий по повышению их роли.

2. Учитывая необходимость укрепления координирующих функций РАН в реализации крупных комплексных проектов, направленных на скорейшее восстановление технологического суверенитета России по высокотехнологическим критически важным направлениям президиуму РАН совместно с законодательными органами Российской Федерации приложить максимальные усилия по выполнению поручения Президента Российской Федерации В.В. Путина относительно статуса головной научной организации и научных руководителей при реализации стратегических инициатив в научно-технологической сфере во исполнение перечня поручений Президента Российской Федерации от 20 апреля 2023 г. № Пр-800 (по итогам заседания Совета по науке и образованию 8 февраля 2023 г., подпункт б) пункта 1 и подпункт б) пункта 2).

3. Президиуму РАН совместно с законодательными органами Российской Федерации (Комитетом по науке и высшему образованию Государственной Думы Российской Федерации Федерального Собрания Российской Федерации) ускорить подготовку нормативной базы, требующейся для строительства в режиме государственно-частного партнерства служебного (недорогого арендного) жилья для молодых научных и научно-педагогических работников во исполнение перечня поручений Президента Российской Федерации В.В. Путина от 10 февраля 2022 г. № Пр-290.

Главный ученый секретарь
президиума РАН
академик РАН

М.В. Дубина

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Материалы
научной сессии общего собрания
членов Российской академии наук
12-13 декабря 2023 года**

Формат 70x100 1/16

Гарнитура Times

Усл.-п. л. 34,13. Уч.-изд. л. 28,0

Тираж 200 экз.

Издатель – Российская академия наук

Верстка и печать – УНИД РАН

Отпечатано в экспериментальной цифровой типографии РАН

Распространяется бесплатно