

# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Том 91, номер 1, 2021

---

---

## Общее собрание членов РАН

Вступительное слово президента РАН <i>А.М. Сергеева</i>	3
Выступление министра науки и высшего образования РФ <i>В.Н. Фалькова</i>	5
О реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации и важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными в 2019 году <i>Доклад президента РАН академика РАН А.М. Сергеева</i>	7
О работе президиума РАН за отчётный период <i>Доклад главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН Н.К. Долгушкина</i>	53

---

## Доклады лауреатов Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова РАН 2019 года

<i>Г. С. Голицын</i> Путь в науке об окружающем мире	69
<i>П. Й. Крутцен</i> Наши внуки, как и мы сегодня, будут жить в антропоцене	82

---

## Проблемы экологии

<i>В. А. Кулагин, Н. В. Дунаева, Д. Д. Яковлева</i> Новые технологии использования биогаза как способ решения экологических проблем	87
--	----

---

---

# CONTENTS

---

---

**Vol. 91, No. 1, 2021**

---

---

## **General Meeting of the Russian Academy of Sciences**

- Opening speech of the RAS President Academician *A.M. Sergeev* 3
- Speech by the Minister of Science and Higher Education of the Russian Federation *V. N. Falkov* 5
- On the implementation of the state scientific and technical policy in the Russian Federation and the most important scientific achievements received by Russian scientists in 2019  
*Report of the RAS President Academician A.M. Sergeev* 7
- On the work of the RAS Presidium for the reporting period  
*Report of the Chief Scientific Secretary of the RAS Presidium Academician N.K. Dolgushkin* 53
- 

## **Reports of the Laureates of the Great Gold Medal named after M.V. Lomonosov of the Russian Academy of Sciences 2019**

- G. S. Golitsyn*  
Path in the science of the surrounding world 69
- P. J. Krutzen*  
Our grandchildren, like us today, will live in the Anthropocene 82
- 

## **Problems of Ecology**

- V. A. Kulagin, N. V. Dunaeva, D. D. Yakovleva*  
New technologies for the use of biogas as a way to solve environmental problems 87
- 
-

## ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН А.М. СЕРГЕЕВА

DOI: 10.31857/S0869587321010072

Уважаемые коллеги, основным в программе Общего собрания значится доклад “О реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными в 2019 г.”. Но во вступительном слове я хотел бы остановиться на текущем моменте, то есть на участии академической науки в борьбе с коронавирусом.

Мы с вами прекрасно понимаем: начавшаяся пандемия настолько экстраординарна, что существенно изменила вектор развития экономики, науки, повлияла на политику и у нас в стране, и во всём мире. Потребность в быстрой реализации новых методов диагностики и лечения коронавирусной инфекции очевидна. Общество осознаёт, как важна в решении этих задач роль науки, мы с вами видим её востребованность. В России в борьбе с коронавирусом участвуют ведущие учреждения Роспотребнадзора, Минздрава, Федерального медико-биологического агентства – Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии “Вектор”, Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи и другие. Работающие в этих государственных структурах учёные поставлены, можно сказать, под ружьё. Ими создаются новые тест-системы, новые лекарственные препараты, вакцины.

Академическими учреждениями, университетами также получены ощутимые результаты. Назову лишь некоторые. Тест-система на основе иммуноферментного анализа разработана под руководством академика А.А. Макарова в Институте молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН. В конце апреля она прошла регистрацию и уже внедрена в производство. Уровень чувствительности (95%) и специфичность (98%) по детектированию иммуноглобулина G подтверждают высокое качество разработки, базирующейся на фундаментальных научных исследованиях. Ещё одна высокочувствительная тест-система на основе иммуноферментного анализа создана под руководством академика А.Г. Габибова в Институте биоорганической химии им. академиком М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН. Надеемся, в самое ближайшее время будет развёрнуто её производство. Знаменательно, что она пода-

валась на регистрацию совместно Российской академией наук и Министерством науки и высшего образования РФ, о чём свидетельствует специальный товарный знак. Созданная научным коллективом под руководством академика В.М. Говоруна (Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины ФМБА) тест-система с использованием изотермической цепной реакции позволяет получать результат в течение 15–20 минут, к тому же она способна определять количественные показатели вирусных частиц, присутствующих в крови пациента. Аналогичные тест-системы разрабатываются в новосибирском Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.

В отсутствие вакцины трудно избежать последующих волн распространения вируса, поэтому негласное соревнование научных коллективов за первенство в её создании идёт во всём мире. Российские учёные работают над несколькими типами вакцин. Всем известны результаты, полученные НИИ им. Н.Ф. Гамалеи, а также ГНЦ “Вектор” совместно с компанией “Биокад”. Упомяну в этой связи и академические институты. Так, в Институте биоорганической химии РАН создаётся субъединичная вакцина (в роли носителя используется вирус гепатита В). В МГУ им. М.В. Ломоносова коллективом, возглавляемым академиком М.П. Кирпичниковым, разработана вакцина на основе вируса табачной мозаики, уже проходящая доклинические испытания. На наш взгляд, перспективна цельновирионная инактивированная вакцина, создаваемая под руководством члена-корреспондента РАН А.А. Ишмухаметова в Федеральном научном центре исследований и разработки иммунобиологических препаратов им. М.П. Чумакова РАН. Цельновирионные вакцины доказали свою эффективность (в их числе вакцины против полиомиелита, энцефалита, жёлтой лихорадки), поэтому с большой долей вероятности можно предположить, что свою действенность они подтвердят и в случае SARS-CoV-2. Уже до конца текущего года может быть начато масштабное промышленное производство такой вакцины.

Академическая наука участвует и в создании противовирусных препаратов с выраженной активностью против SARS-CoV-2. В их числе

*триазавирин*, разработанный под руководством академика В.Н. Чарушина в Институте органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН. Этот препарат производится и продаётся в аптеках довольно давно, но недостаточно известен. Оказалось, что в отношении SARS-CoV-2 он эффективен, что подтверждают и наши китайские коллеги, закупившие партию триазавирина. И ещё один пример. Препарат, блокирующий контакт вируса SARS-CoV-2 с эпителиальными клетками, создаётся под руководством академика В.О. Попова в Федеральном исследовательском центре биотехнологии. Получен соответствующий патент, должна начаться его доклиническая апробация. Очень важно, что Министерство науки и высшего образования РФ поддерживает эту разработку, что, по-видимому, даст возможность пройти достаточно быстро следующую стадию тестирования препарата. Ведутся разработки и технического плана. Например, в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ под руководством академика А.Ю. Измайлова создана дезинфекционная камера, эффективно нейтрализующая вирусные частицы.

С началом пандемии Академии наук удалось наладить регулярное информирование научной общественности о складывающейся ситуации. Хочу поблагодарить корпус профессоров РАН, которые очень активно в этом участвуют. Отмечу, что на сайте Российской академии наук появилась кнопка “COVID-19”, позволяющая его посетителям ознакомиться не только с пополняющейся информацией по коронавирусу, но и с теми работами, которые ведутся в РАН. Хотел бы отметить телевизионный проект “Россия-24 – РАН”, благодаря ему в эфир вышло уже несколько десятков интервью с видными учёными (телеведущая Эвелина Закамская). Широкая аудитория узнаёт больше об Академии наук и благодаря нашим тесным контактам с РИА “Новости”. Упомяну ещё один интересный информационный проект – 23 лекции, вывешенные на нашем академическом сайте, касающиеся COVID-19.

Совместно с Минобрнауки России мы внесли в правительство предложение о создании Научного центра социологии и психологии чрезвычайных ситуаций и катастроф. Председатель правительства предложение поддержал – Центр будет формироваться в рамках новой программы первоочередных действий по подъёму экономики, которая стартовала 1 июня.

В мае 2020 г. прошёл второй Московский академический экономический форум, организо-

ванный Российской академией наук, Вольным экономическим обществом России, Международным союзом экономистов. Тема – “Постпандемический мир и Россия: новая реальность?”. По его результатам в правительство внесены предложения, которые предполагают стратегические действия, позволяющие обеспечить создание качественно новой экономики, её выход из текущего кризиса на траекторию устойчивого роста. Я благодарен академикам А.Г. Аганбегяну, Б.Н. Порфирьеву, члену-корреспонденту РАН А.А. Широу и другим коллегам, участвовавшим и в организации форума, и в подготовке его итогового документа.

В Минобрнауки России представлен крупный научный проект, в рамках которого сотрудничают математики, физики, инфекционисты, – “Моделирование эпидемий вирусных инфекций” (руководитель – академик Г.Н. Рыкованов). Его реализация потребует тесного взаимодействия академических институтов с Росатомом.

Должен сказать, что усилия членов Российской академии наук, сотрудников академических институтов, университетов по разработке тест-систем, вакцин, лечебных препаратов не остались незамеченными. Мы с большой радостью прочитали Указ Президента РФ о награждении группы медиков, и в том числе учёных, орденом Пирогова за большой вклад в борьбу с корона-вирусной инфекцией, самоотверженность и высокий профессионализм, проявленный при исполнении врачебного долга. Этой награды удостоены академики РАН С.Ф. Багненко, В.М. Говорун, А.Д. Каприн, Ю.С. Полушин, А.Ш. Ревитшвили, Г.Т. Сухих; члены-корреспонденты РАН С.Н. Авдеев, О.И. Аполихин, Н.А. Дайхес, Г.Г. Кармазановский, А.О. Конради, С.С. Петриков, А.С. Самойлов, Е.А. Трошина, В.В. Фомин, А.В. Шабунин. Звание “Заслуженный врач Российской Федерации” присвоено членам-корреспондентам РАН О.М. Драпкиной и Н.В. Загороднему. От имени всех присутствующих на этом собрании поздравляю коллег с высокими правительственными наградами.

Несколько наших уважаемых коллег – членов Российской академии наук удостоены Государственной премии Российской Федерации 2019 г. в области науки и технологий. Хочу поздравить члена-корреспондента РАН А.В. Головнёва, академиков РАН М.Р. Предтеченского и Д.М. Марковича с этой высокой наградой.

## ВЫСТУПЛЕНИЕ МИНИСТРА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ В.Н. ФАЛЬКОВА

Поступила в редакцию 06.07.2020 г.

После доработки 06.07.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

*Ключевые слова:* Министерство науки и высшего образования РФ, Российская академия наук, проект Программы фундаментальных научных исследований на долгосрочный период (2021–2030 годы), конкурсный отбор грантов на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития, обновление приборной базы, Программа стратегического академического лидерства, критерии оценки труда учёных.

DOI: 10.31857/S0869587321010035

Прежде всего хочу поблагодарить за приглашение участвовать в работе Общего собрания членов РАН и наметившийся конструктивный и доверительный диалог с Российской академией наук.

Конечно, качество взаимодействия – категория оценочная, особенно с учётом истории взаимоотношений министерства и Академии наук. Мы понимаем, что многое не сделано и нам есть к чему стремиться. Тем не менее как партнёры мы последовательно движемся вперёд и находим компромиссы и по самым сложным текущим вопросам, и по проблемам, касающимся стратегического развития сектора исследований и разработок в нашей стране. Отмечу лишь ряд важных, на мой взгляд, аспектов взаимодействия Министерства науки и высшего образования РФ и Академии наук.

Пользуясь возможностью, в первую очередь выражаю слова благодарности президенту РАН, её президиуму и всем, кто вместе с министерством и экспертным сообществом участвовал в подготовке и разработке проекта новой Программы фундаментальных научных исследований на долгосрочный период (2021–2030 годы). Это принципиально важный документ, который сейчас находится на утверждении и, надеюсь, в ближайшее время будет принят. Для многих его обсуждение прошло незаметно, без серьёзных споров. Это говорит о том, что по крайней мере на заключительной стадии подготовки документа была проделана трудоёмкая, кропотливая работа с привлечением большого количества специалистов. Насколько я осведомлён, президиум РАН высоко оценивает представленный проект.

Наша жизнь динамична, даже свёрстанные 2–3 года назад планы часто перекраиваются. Всегда находятся желающие подвергнуть их ревизии,

представить в другом формате, сократить финансирование – одним словом, внести какие-то изменения. Тем не менее благодаря последовательной позиции президента Российской академии наук и президиума РАН мы подготовили Правила предоставления из федерального бюджета грантов в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (до 100 млн руб. в год) и создали для этого необходимую нормативную базу. Обращаю внимание, что в 2020 г. на эти цели выделено больше средств, чем в предыдущем.

Поскольку гранты предоставляются на конкурсной основе, Российская академия наук совместно с министерством ведёт работу по отбору проектов. От научных организаций и вузов уже поступило более 350 заявок по различным тематикам, определённым экспертным советом. На экспертизу, которая проводится силами РАН, в 2020 г. отпущено почти в два раза больше средств, чем в предыдущем году. Таким образом, благодаря конкурсу нам удастся интегрировать научные и образовательные организации и при экспертной поддержке Академии наук определить поистине прорывные уникальные проекты, которые позволят сделать ещё один шаг на пути к научному лидерству России.

Другой важный аспект нашего взаимодействия относится к комплексному обновлению приборной базы ведущих научных организаций. Российские учёные должны работать на современном оборудовании – год за годом мы идём к тому, чтобы воплотить эти слова в жизнь. Безусловно, решить все проблемы в данной сфере быстро и на 100% невозможно, но следует оценивать динамику и целеполагание, в том числе качество взаимодействия всех заинтересованных сто-

рон. В 2019 г. общий объём грантов на эти цели превысил 4.3 млрд руб., средства для обновления приборной базы получили 111 организаций. С 2020 г. для каждой научной организации, претендующей на получение гранта, дополнительным условием станет разработка программы обновления научного оборудования, согласованной с РАН. Предложенный механизм принципиально отличается от предыдущей практики, благодаря чему произойдёт синхронизация приобретения нового оборудования по всей стране, будет исключена возможность дублирования закупок и приобретения оборудования, не позволяющего осуществлять прорывные исследования.

Предметом нашего продуктивного взаимодействия стала также Программа стратегического академического лидерства, рассчитанная на 10 лет (2020–2030 гг.). По сути, это новый этап программ развития и поддержки крупнейших российских вузов, начатых ещё в 2016 г. Но все они были ориентированы только на университеты. Программа стратегического академического лидерства тем и отличается от предшествующих, что предполагает участие в ней, наряду с образовательными, научных организаций. Соответственно, ориентированные на её реализацию ресурсы пойдут и в сектор высшего образования, и в сектор науки, что позволит сконцентрировать усилия на прорывных направлениях, проводить актуальные научные исследования.

Идея программы была озвучена 5 июня 2020 г. на площадке Российского союза ректоров, президиума Российского союза ректоров. С самого начала её дизайн, замысел и концептуальные основания обсуждались с президентом РАН и членами её президиума. Это осознанный шаг: мы хотели, чтобы сформулированные в документе положения работали и на решение проблем научных организаций. Не открою секрета, если скажу, что сегодня приток молодых кадров в сектор исследований и разработок сокращается. Когда-то для их подготовки были созданы национальные исследовательские университеты (НИУ). Таких образовательных структур пока немного. В рамках программы стратегического академического лидерства планируется отбирать НИУ по основному критерию — эффективности взаимодействия с научными организациями. Иными словами, не рейтинги, не наукометрические показатели будут одним из критериев присвоения вузу статуса “Национальный исследовательский университет”, а количество выпускников, трудоустроенных в отечественный сектор исследований и раз-

работок. Другим критерием станет уровень их средней заработной платы. Сразу оговорюсь: идеальных индикаторов нет, идёт большая дискуссия, к участию в которой мы приглашаем представителей академического сообщества.

И в завершение — об эффективности исследовательской деятельности и критериях оценки труда учёных. Мне кажется, что для выражения мнения по этому поводу лучшей площадки не найти. Часто приходится слышать, что эффективность сотрудника должна в первую очередь определяться качеством формулирования проблем, строгостью научных выводов и использованных методов достижения поставленной цели, а не количеством грантов и числом публикаций, умением привлечь внимание общественности какими-либо яркими инициативами. Такая постановка вопроса не просто имеет право на существование, она весьма актуальна. Я имею в виду, конечно, актуальность определения принципов и критериев оценки труда учёных — тех вопросов, которые касаются экспертизы и своего рода репутационных показателей. Причём в подходах министерства и РАН к решению этих проблем нет различий. Понятно, что избыточность применения наукометрических показателей ослабляет внимание к реальным проблемам. Более того, наукометрическое давление, когда для получения статуса в научном сообществе учёные обязаны публиковать свои работы в высокорейтинговых отечественных и зарубежных журналах, зачастую ведёт к снижению качества публикаций, их излишней “научности”. Нельзя не заметить, что невозпроизводимость результатов, изложенных в статье, стала обычным явлением. Как, впрочем, характерным становится и проведение исследований для систематического совершенствования уже имеющихся знаний, при этом в науке остаётся много белых пятен, а крупные научные открытия носят случайный характер.

Задача Министерства науки и высшего образования РФ и академического сообщества состоит в том, чтобы разработать целостную систему оценки труда учёных, коллективов, лабораторий, центров. Разрушить то, что существует, достаточно легко. Как сделать, чтобы система работала на результативность и эффективность научных исследований? Хотел бы заверить высокое собрание, что министерство готово обсуждать этот вопрос и совместно решать многие другие проблемы, которые сегодня стоят перед нашим обществом и государством.

## О РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ РОССИЙСКИМИ УЧЁНЫМИ В 2019 ГОДУ ДОКЛАД ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА РАН А.М. СЕРГЕЕВА

*Российская академия наук, Москва, Россия*

*E-mail: amsergeev@pran.ru*

Поступила в редакцию 31.10.2020 г.

После доработки 31.10.2020 г.

Принята к публикации 15.11.2020 г.

В докладе освещаются основные задачи и проблемы реализации в России научной и научно-технической политики, формулируются предложения по осуществлению первоочередных мер, направленных на формирование национальной инновационной системы как основы социально-экономического развития страны и обеспечения обороны и безопасности. Анализируется роль Российской академии наук в этом процессе, указывается, что в последние годы интеллектуальный потенциал РАН оказывается существенно недоиспользуемым. Это отрицательно сказывается как на научно-техническом развитии страны, так и на состоянии самой Академии наук, в которой настроения невостребованности в этот самый сложный период становятся всё более ощутимыми.

Вторая часть доклада посвящена важнейшим научным достижениям российских учёных в 2019 г.

*Ключевые слова:* Российская академия наук, научно-технологическое развитие, интеллектуальный потенциал, фундаментальная наука, национальная инновационная система, научные достижения.

**DOI:** 10.31857/S0869587321010084

Наблюдаемые глобальные трансформации во многом обусловлены интенсивным научно-технологическим развитием, принципиально меняющим и качество жизни, и систему социально-экономических отношений. Мир переходит в стадию гуманитарно-технологической революции, в результате сформируется новый мировой уклад, в котором лидирующие позиции займут страны, обеспечивающие высокое качество жизни за счёт создания принципиально новых видов продукции и услуг на основе передовых технологий, базирующихся на результатах фундаментальных научных исследований.

В соответствии с этим в Послании Федеральному собранию Российской Федерации 1 марта 2018 г. Президент РФ В.В. Путин сформулировал стратегические направления развития страны:

- повышение качества жизни;
- научно-технологическое развитие, прежде всего ликвидация отставания от стран — технологических лидеров;
- развитие территорий;
- оборона и безопасность.

Указанные направления должны обеспечить решение главной задачи — полноправное присутствие России в числе стран — глобальных лидеров в новом мировом укладе: “Ключевую роль в этом должна сыграть российская фундаментальная наука, обеспечивающая получение новых знаний и опирающаяся на собственную логику развития. Поддержка фундаментальной науки как системообразующего института долгосрочного развития нации является первоочередной задачей государства” (п. 21).

Практическое решение стратегических задач лежит в плоскости формирования целостной инновационной системы, включающей проведение фундаментальных научных исследований, прикладных разработок, организацию производства. Применительно к российским условиям национальная инновационная система определяется как совокупность институтов, взаимодействующих в процессе получения, распространения и использования нового знания, направления и механизмы деятельности которой определяются соответствующей государственной политикой и нормативной правовой базой. Применительно к

российским условиям, которые характеризуются существенной дифференциацией территорий по уровню социально-экономического и научно-технологического развития, должна быть обеспечена целостность инновационной системы, что достигается разработкой единой федерально-региональной научно-технологической и инновационной политики.

В докладе анализируется действующая государственная научно-техническая политика и формулируются предложения по реализации первоочередных мер по развитию науки и технологий, формированию национальной инновационной системы как основы социально-экономического развития страны и обеспечения обороны и безопасности.

### ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ в 2004–2019 гг.

**Организационно-правовые и институциональные трансформации академического и инновационного секторов науки в последнее двадцатилетие.** К началу XXI в. Россия постепенно начала выходить из затяжного социально-экономического кризиса, связанного с распадом Советского Союза. Наметился экономический рост, обусловленный стабилизацией институтов власти, становлением новой системы экономических отношений в стране и благоприятными изменениями конъюнктуры мировой экономики. Естественно, что на повестку дня вышел также вопрос о принципах и приоритетах функционирования научного, научно-образовательного и научно-технологического комплекса в условиях новой реальности.

До 2004 г. наука относилась к реальному сектору экономики и её управление осуществлялось Министерством промышленности, науки и технологий Российской Федерации (Минпромнауки России). Подготовкой кадров для науки занимались высшие учебные заведения, подведомственные Министерству образования Российской Федерации. В 2004 г. эти министерства были ликвидированы, и наука и высшее образование были переданы во вновь созданное Министерство образования и науки Российской Федерации (с 2018 г. — Министерство науки и высшего образования Российской Федерации). На Минобрнауки России были возложены все функции по формированию и реализации государственной научной, научно-технической и образовательной политики.

При этом инновационная политика оказалась децентрализованной и формировалась в интересах отдельных направлений экономики различными отраслевыми министерствами и ведомствами, наукоёмкими госкорпорациями, государственными научными центрами и другими

структурами. Предполагалось, что рыночные отношения будут автоматически более эффективно регулировать процесс превращения знаний в технологии и в рыночный продукт, как это происходило, во всяком случае внешне, в развитых экономиках зарубежных государств. На государственном уровне был создан ряд новых институтов технологического развития для поддержки формирования различных научно-технологических экосистем (Сколково, РВК, НТИ, ИНТЦ и др.). Однако система полного инновационного цикла “фундаментальная наука — прикладные разработки — производство” в гражданском секторе страны так и не заработала в полной мере до настоящего времени (в отличие от сферы оборонных разработок, где все звенья цепи контролируются государством), и это основная причина продолжающегося технологического отставания нашей страны от государств-лидеров.

Состояние научно-технологического комплекса как основного фактора обеспечения конкурентоспособности и безопасности государства отражается на глобальных рейтингах России. По глобальному индексу конкурентоспособности Всемирного экономического форума в рейтинге 140 стран мира Россия занимает 36-е место (ближайшее окружение — Объединённые Арабские Эмираты, Катар, Мальта). По глобальному индексу инноваций (ГИИ) Россия занимает сегодня 46 место из 126 стран, учтённых в рейтинге (табл. 1). Первые места в этом рейтинге традиционно занимают экономически развитые страны Западной Европы (Швейцария, Нидерланды, Швеция, Великобритания и др.). Вместе с тем в мире сегодня идёт активное перераспределение сил по инновационному, а значит, и производственно-технологическому потенциалу развития различных регионов мира. Так, за период 2015–2019 гг. Китай в рейтинге ГИИ поднялся на 15 позиций, Израиль — на 12 позиции (обогнав Южную Корею и Японию), Таиланд и Вьетнам сумели обойти Россию, а Индия совершила рывок, поднявшись сразу на 29 позиций (с 81 до 52 места). Позиции же России сколько-нибудь значимых изменений за это время не претерпели. Наша страна занимает 46 место среди развивающихся стран по показателям инновационного развития.

При этом наличие мощного оборонного потенциала, основу которого до настоящего времени в значительной степени составляют научно-технологические заделы, образованные во времена СССР, позволяют России поддерживать на мировой арене высокий военно-политический статус. При сохранении существующего состояния научно-технологического комплекса и тенденций его развития есть риск утраты и этих преимуществ.

**Таблица 1.** Место ряда стран в рейтинге по глобальному индексу инноваций (ГИИ)

Страна	Место по ГИИ		Страна	Место по ГИИ	
	2015 г.	2019 г.		2015 г.	2019 г.
Швейцария	1	1	Китай	29	14
Швеция	3	2	Япония	19	15
США	5	3	Франция	21	16
Нидерланды	4	4	Канада	16	17
Великобритания	2	5	Италия	31	30
Сингапур	7	8	Вьетнам	52	42
Германия	12	9	Таиланд	55	43
Израиль	22	10	Россия	48	46
Республика Корея	14	11	Индия	81	52

*Составлено по:* The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development. P. XXX–XXXI; The Global Innovation Index 2019: Energizing the World with Innovation. P. XX–XXI. Cornell University, INSEAD and WIPO. <https://www.globalinnovationindex.org/about-gii#report>

Сложившееся положение научно-технологического комплекса вызывает беспокойство руководства страны. В ежегодном Послании Президента Российской Федерации (март 2018 г.) научно-технологическое развитие, в том числе ликвидация отставания от государств – технологических лидеров, было определено как один из главных стратегических приоритетов развития страны.

В принятой в 2015 г. редакции Стратегии национальной безопасности России специально указывается, что “для решения задач национальной безопасности в области науки, технологий и образования необходимы: комплексное развитие научного потенциала, восстановление полного научно-производственного цикла – от фундаментальных научных исследований до внедрения достижений прикладной науки в производство в соответствии с приоритетами социально-экономического, научного и научно-технологического развития Российской Федерации”. Однако до настоящего времени не выработано единой государственной научно-технической и инновационной политики, которая сейчас регулируется несколькими стратегическими документами: Национальной технологической инициативой, Стратегией научно-технологического развития, Указами Президента Российской Федерации и др. Отсутствие единой государственной научно-технической и инновационной политики – существенное препятствие для разработки нового научного законодательства, работа над которым началась в 2014 г.

Существенные изменения произошли за последние 20 лет и в организации фундаментальных исследований в стране. Прежде всего это связано с формированием многоканальной системы финансирования фундаментальной науки и с реорганизацией академического сектора исследований.

Наряду с базовым финансированием организаций, занимающихся фундаментальными и поисковыми исследованиями, осуществляемым ведомственными госструктурами, научные коллективы получили возможность привлекать дополнительные средства, участвуя в конкурсах, объявляемых государственными и частными фондами, конкурсных программах Минобрнауки России и др. Так, финансирование только из двух крупнейших российских научных фондов – РФФИ и РНФ – составляет сейчас около 20% всех средств, расходовемых на фундаментальную науку. Финансирование на конкурсной основе – существенный компонент поддержания работоспособности и уровня исследований практически для всех значимых научных коллективов в стране.

Организационно-правовые изменения в последнее десятилетие существенным образом затронули академический сектор науки. С принятием Федерального закона Российской Федерации от 8 мая 2010 г. № 83-ФЗ “О бюджетных учреждениях” изменился статус научных организаций, которые превратились из институтов Российской академии наук, как это было установлено Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ “О науке и государственной научно-технической полити-

ке”, в обычные бюджетные организации. Это повлекло за собой серьёзные изменения в организации научной деятельности. Базовое финансирование было заменено госзадаванием с плановыми показателями выпуска научной (как правило, печатной) продукции, что впоследствии вылилось в нормирование творческого труда учёных и повсеместное внедрение наукометрии. Принятая до этого экспертная оценка деятельности оказалась в значительной степени заменённой на формализованные показатели. Резко возросла бюрократизация науки и усилилось прямое управление чиновниками организацией научной деятельности.

Следующим этапом стала кардинальная трансформация академического сектора науки. Федеральным законом Российской Федерации от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук...”, разработанным Минобрнауки России, РАН была лишена статуса высшей научной организации страны и преобразована в ФГБУ, утратив тем самым особую организационно-правовую форму, установленную в 1996 г. Федеральным законом “О науке и государственной научно-технической политике”. В соответствии с принятым законом собственно проведение научных исследований также не входит в основные виды деятельности Академии наук. За ней остались в основном совещательные и экспертные функции.

Отделение академических организаций от РАН, РАМН и РАСХН, передача их под управление ФАНО, а впоследствии Минобрнауки России, объединение в единую структуру членов РАН, РАМН и РАСХН демонтировало прежнюю систему управления фундаментальной наукой, причём наиболее чувствительным это оказалось для исследований в сфере здравоохранения и сельского хозяйства, где научные институты были традиционно ориентированы на соответствующие профильные министерства.

Отличительной чертой сложившейся системы управления фундаментальной наукой стала концентрация в одном федеральном органе исполнительной власти функций формирования государственной научно-технологической политики, её реализации подведомственными организациями, мониторинга и оценки результатов деятельности. При этом учёт рекомендаций профессионального сообщества оказался необязательным, что приводит к негативным последствиям. Примером служит не согласованная с научным сообществом реорганизация РФФИ, нацеленная на постепенное упразднение его конкурсных функций и выразившаяся пока в бесосновательной реструктуризации (укрупнении) экспертных советов и в попытке ликвидации наиболее массового конкурса инициативных проектов, идея которого лежала в основе создания фонда.

По мнению большинства учёных, реформирование академического сектора науки в рамках Федерального закона Российской Федерации от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ не способствовало решению задач развития науки как реального конкурентного преимущества страны. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты опроса членов Академии наук и профессоров РАН, проведённого в конце 2019 г. в связи с шестилетней годовщиной реформы.

За последние 20 лет произошли заметные изменения в институциональной структуре сектора исследований и разработок в стране (табл. 2). Существенно сократилось число научно-исследовательских (более чем на 40%), конструкторских (более чем на 20%) и проектно-изыскательских организаций (более чем на 75%). При этом количество организаций промышленности, имеющих статью расходов на исследования и разработки, увеличилось практически на 50%.

Приведённые данные свидетельствуют о значительных переменах в организации отраслевой науки за прошедший период. Предприятия реального сектора экономики, ориентированные на производство наукоёмкой продукции, организуют исследовательские подразделения в своей структуре для более быстрой и эффективной адаптации инновационных разработок. Эта практика крупнейших международных и национальных корпораций внедряется сейчас и на предприятиях меньшего масштаба.

Наиболее заметные изменения произошли в вузовском секторе науки, в котором количество организаций, участвующих в проведении научных исследований, увеличилось с начала века на 135% и в настоящее время практически все университеты в той или иной степени вовлечены в такую деятельность. Доля этих организаций в общем числе увеличилась с 13 до 25%, а доля сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки — с 4.5% в 2000 г. до 9.7% в 2018 г. Это отражает ориентацию государственной научно-технической политики на повышение роли вузовской науки.

**Наука и обеспечение стратегических целей развития государства.** Один из основных приоритетов государственной политики в долгосрочной перспективе — научно-технологическое развитие Российской Федерации, которое на прогнозный период определено Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации (далее — Стратегия научно-технологического развития, Стратегия НТР). На реализацию стратегии направлены в том числе мероприятия, предусмотренные в рамках национального проекта “Наука”.

**Таблица 2.** Организации, выполняющие исследования и разработки (по типам)

Тип организации	2000	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Изменение за 2000–2018 гг.
Всего	4099	3492	3682	3566	3605	3604	4175	4032	3944	3950	Уменьшение на 3.6%
Научно-исследовательские	2686	1840	1782	1744	1719	1689	1708	1673	1577	1574	Уменьшение на 41.4%
Конструкторские	318	362	364	338	331	317	322	304	273	254	Уменьшение на 20.1%
Проектные и проектно-исследовательские	85	36	38	33	33	32	29	26	23	20	Уменьшение на 76.5%
Опытные предприятия	33	47	49	60	53	53	61	62	63	49	Рост на 48.5%
Образовательные организации высшего образования	390	517	581	560	671	700	1040	979	970	917	Рост на 135.1%
Организации промышленности	284	238	280	274	266	275	371	363	380	419	Рост на 47.5%
Прочие	303	452	588	557	532	538	644	625	658	717	Рост на 136.6%

Источник: Росстат.

7 мая 2018 г. Президент России подписал Указ “О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года”. В соответствии с этим указом были сформированы национальные проекты по 13 стратегическим направлениям:

- здравоохранение;
- образование;
- демография;
- культура;
- безопасные и качественные автодороги;
- жильё и городская среда;
- экология;
- наука;
- малое и среднее предпринимательство;
- цифровая экономика;
- производительность труда и поддержка занятости;
- международная кооперация и экспорт;
- комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры.

Национальные проекты направлены на обеспечение прорывного научно-технологического и социально-экономического развития России,

повышения уровня жизни, создания условий и возможностей для самореализации и раскрытия таланта каждого человека. По сути, до 2024 г. национальные проекты должны ликвидировать имеющиеся отставания в различных областях и тем самым создать условия для дальнейшего ускоренного социально-экономического развития страны, повышения её безопасности. Эту задачу можно решить, только опираясь на современные науку и технологии.

Расходы на финансирование национальных проектов в 2019 г. представлены в таблице 3. На проведение исследований по гражданской науке было выделено почти 50 млрд руб., в основном через мероприятия НП “Наука”. Паспорта ряда национальных проектов, хотя и не включают в явном виде проведение научных исследований и разработок, тем не менее содержат наукоёмкую составляющую. Поэтому важной задачей государственной научно-технической политики на текущем этапе является организационное и научное сопровождение национальных проектов и координация их целей с приоритетами научно-технологического развития, определёнными Стратегией НТР.

**Таблица 3.** Расходы федерального бюджета на финансирование реализации национальных проектов в 2019 г.

Наименование национального проекта	Расходы федерального бюджета на финансовое обеспечение национального проекта	Из них на гражданскую науку, млн руб	Удельный вес расходов на гражданскую науку, %
ВСЕГО	2129633.5	49661.2	2.33
Безопасные и качественные автомобильные дороги	104274.1	41.5	0.04
Демография	725 590	177.1	0.02
Жильё и городская среда	106525.4	614.1	0.58
Здравоохранение	312468.8	1358.5	0.43
Культура	17163.7	—	—
Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы	49857.0	—	—
Международная кооперация и экспорт	74 548	—	—
Образование	147172.9	243.9	0.17
Наука	47049.0	41653.8	88.53
Производительность труда и поддержка занятости	6900.0	10.0	0.14
Экология	76661.5	25.8	0.03
Цифровая экономика Российской Федерации	124205.6	5536.6	4.46
Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры	337215.7	—	—

Источник: Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ.

**Деятельность Российской академии наук по формированию и реализации государственной научно-технической политики.** По инициативе Президента Российской Федерации В.В. Путина в июне 2018 г. был принят Федеральный закон № 218-ФЗ, которым были внесены дополнения в действующий Федеральный закон Российской Федерации от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук...”.

Согласно Федеральному закону от 27 сентября 2018 г. № 218-ФЗ в перечень целей и задач РАН добавлено:

- проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований, в том числе в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обороны страны и безопасности государства;
- прогнозирование основных направлений научного, научно-технологического и социаль-

но-экономического развития Российской Федерации;

- научно-методическое руководство научной и научно-технической деятельностью научных организаций и образовательных организаций высшего образования;
- популяризация достижений науки и техники;
- организация разработки программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период и её представление в Правительство РФ, организация и координация фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований, проводимых в рамках этой программы научными организациями, образовательными организациями высшего образования и иными субъектами научной и научно-технической деятельности.

Основные виды деятельности Российской академии наук дополнены следующими положениями:

- подготовка и представление Президенту Российской Федерации и в Правительство Российской Федерации Доклада о реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными;
- расширены функции РАН в сфере международного сотрудничества. Законом, в частности, определено, что РАН “организует проведение совместно с научными организациями иностранных государств фундаментальных научных исследований и прикладных научных исследований и участвует в таких исследованиях”;
- согласование решений о реорганизации и ликвидации научных организаций, ранее подведомственных РАН, а также рассмотрение предложений о внесении изменений в их уставы (об утверждении уставов в новой редакции) в части научной и (или) научно-технической деятельности в порядке, установленном Правительством Российской Федерации;
- участие в разработке, обеспечении и реализации программ популяризации и пропаганды науки, научных знаний, достижений науки и техники, программ поддержки научно-технического творчества среди детей и молодёжи.

При этом проведение научных исследований не было включено в перечень основных видов деятельности Академии наук.

*Научно-методическое руководство и направления его совершенствования.* Постановлениями Правительства РФ от 30 декабря 2018 г. № 1781 и от 24 декабря 2019 г. № 1793 утверждены Правила осуществления Российской академией наук научного и научно-методического руководства научной и научно-технической деятельностью научных организаций и образовательных организаций высшего образования, а также экспертизы научных и научно-технических результатов, полученных этими организациями. До утверждения этих правил научно-методическое руководство осуществлялось в рамках Постановления президиума РАН от 17 марта 2015 г. “Об утверждении Положения о научно-методическом руководстве РАН научными организациями и образовательными организациями высшего образования” и регламентов взаимодействия РАН и ФАНО в отношении подведомственных ФАНО академических учреждений.

Научно-методическое руководство РАН распространяется теперь на все научные организации и университеты страны, а не только на научные организации, ранее подведомственные ФАНО. Руководство сводится в основном к про-

ведению экспертизы деятельности научных организаций. Правильно организованная система экспертизы с обязательным учётом её результатов представляет собой серьёзный рычаг влияния на участников научно-технической деятельности, однако не затрагивает реального процесса управления и организации научных исследований. Этот компонент научно-методического руководства мог бы быть усилен путём расширения функционала научных руководителей.

В настоящее время руководители научных организаций совмещают административные и научно-организационные функции. Во многих случаях, особенно это касается крупных многопрофильных научных центров, руководители не имеют возможности сосредоточиться на эффективной координации научных исследований ввиду большой административной загруженности. Эта ситуация усугубляется постоянно возрастающим объёмом различных отчётных документов. В результате нередки случаи, когда активные учёные отказываются от занятия административных должностей, справедливо полагая, что это будет препятствовать научной работе. В результате снижается и уровень руководителей научных институтов, и качество организации научных исследований.

Возможным выходом из ситуации могло бы стать создание полноценного института научных руководителей, в функции которых входили бы вопросы планирования и организации научных исследований, включая:

- определение научной политики организации и руководство разработкой программы её развития;
- руководство учёным советом научной организации;
- подготовку предложений по государственному заданию научной организации в части проведения научных исследований и разработок;
- формирование перспективных научных и научно-технических направлений;
- взаимодействие с заинтересованными отраслями, предприятиями, организациями в части проведения научных исследований и разработок, реализации совместных проектов, инновационной деятельности;
- руководство аттестацией научных кадров.

Представляется также целесообразным ввести в университетах должность научного руководителя с правами первого проректора, назначаемого по согласованию с РАН.

В случае принятия этих предложений для их практической реализации потребуются предусмотреть в уставах научных организаций положения, регламентирующие права, обязанности и порядок назначения научных руководителей.

Причём каждая научная организация должна иметь право решать, необходима ли ей должность научного руководителя, или функционал административного и научного руководства будет по-прежнему совмещаться директором.

Подобная форма организации научных исследований прошла апробацию при реализации Атомного и Космического проектов СССР, доказав свою высокую эффективность, а также с успехом используется в настоящее время в научных институтах ведущей отечественной госкорпорации «Росатом».

Для решения общих вопросов развития научных исследований и формирования государственной научно-технической и инновационной политики при президиуме РАН создан Совет научных руководителей.

Предложения по совершенствованию законодательства в части расширения полномочий научных руководителей институтов и научных руководителей направлений находятся сейчас на рассмотрении Государственной думы.

*Экспертная деятельность РАН.* Экспертиза – одно из главных направлений деятельности РАН. Объём экспертной нагрузки ежегодно возрастает: так, в 2019 г. в РАН поступило по запросам государственных органов и государственных организаций около 18 тыс. объектов экспертиз различного вида. Текущая экспертная деятельность РАН включает в себя обеспечение федеральных органов исполнительной власти по их запросам рассмотрение проектов документов, нормативно-правовых актов и иных неформализованных объектов экспертизы в области научной и научно-технической деятельности. Заключение РАН содержат экспертное мнение и предложения по реализации научной и научно-технической политики, подготовленные с привлечением ведущих экспертов РАН.

В рамках реализации Постановления Правительства РФ от 30 декабря 2018 г. № 1781 «Об осуществлении федеральным государственным бюджетным учреждением «Российская академия наук» научного и научно-методического руководства научной и научно-технической деятельностью научных организаций и образовательных организаций высшего образования, а также экспертизы научных и научно-технических результатов, полученных этими организациями, и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» РАН осуществляет экспертизу по четырём направлениям:

- заключения к проектам программ развития научных организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования РФ и другим ведомствам, поступившим на рассмотрение в РАН: в 2019 г. проведена экспертиза программ развития 117 научных организаций, подведом-

ственных Минобрнауки России; программы развития одной научной организации, подведомственной Федеральному агентству лесного хозяйства; докладов руководителей 25 научных учреждений, подведомственных Минобрнауки России, о реализации программ развития в 2018 г.;

- экспертные заключения о полученных с привлечением ассигнований федерального бюджета научных и (или) научно-технических результатах, включая оценку их содержания, полноты научной и практической значимости: в 2019 г. в Российской академии наук проведена работа по подготовке 3700 таких заключений, в том числе по поступившим из Министерства науки и высшего образования РФ отчётам образовательных учреждений высшего образования;

- заключения по проектам планов научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования и проектам тематик научных исследований, включаемых в данные проекты планов научных работ: в 2019 г. РАН осуществила экспертизу 1997 тем, поступивших из федеральных органов исполнительной власти, а также из организаций, подведомственных Правительству Российской Федерации – Верховного Суда РФ, Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Исследовательского центра частного права им. С.С. Алексеева при Президенте РФ, Финансового университета при Правительстве РФ;

- рассмотрение и согласование отчётов о выполнении планов научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования, поступивших в РАН. В 2019 г. Российской академией наук рассмотрен 7681 отчёт (7820 объектов экспертизы с учётом междисциплинарного характера части отчётов).

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 8 апреля 2009 г. № 312 «Об оценке и о мониторинге результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения» (далее – оценка результативности) решение об отнесении научной организации к одной из категорий результативности принимается с учётом мнения РАН. РАН осуществляет экспертизу и представляет заключения в рамках мониторинга и оценки результатов деятельности государственных научных организаций независимо от их ведомственной принадлежности.

В 2019 г. в рамках реализации мероприятия федерального проекта «Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в Российской Федерации» по организации и проведению оценки результативности деятель-

ности организаций, выполняющих научные исследования и разработки, вне зависимости от их ведомственной принадлежности, Минобрнауки России совместно с РАН разработаны и применены методики оценки научной, научно-технической и инновационной деятельности, основанные на применении подхода, учитывающего два различных уровня экспертной оценки и наукометрических показателей (далее – оценка). Впервые масштабную оценку результативности проходили 383 крупных междисциплинарных центра и образовательные организации высшего образования, подведомственные 18 федеральным органам исполнительной власти. В результате был утверждён перечень ведущих организаций. По решению Межведомственной комиссии статус ведущих присвоен 145 организациям (105 научным организациям и 40 образовательным организациям высшего образования). Методика и порядок проведения оценки, а также перечень ведущих организаций отражены в протоколах заседаний Межведомственной комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций (<https://www.sciencemon.ru/documents/>). Оценивавшиеся в 2019 г. организации были преимущественно крупными междисциплинарными научными центрами или вузами, ведущими научные исследования в различных референтных группах и профилях. В связи с этим в РАН поступило и выполнено 1924 объекта экспертизы.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 30 июля 2014 г. № 718 «Об утверждении правил направления научно-технических программ и проектов на экспертизу в федеральное государственное бюджетное учреждение “Российская академия наук”» РАН осуществляет экспертизу и даёт заключения о научно-технических программах и проектах, государственных программах, федеральных целевых и межгосударственных целевых программах, включая социально-экономические, стратегиях, концепциях и иных проектах, предусматривающих проведение научных исследований и разработок.

*Проблемы научного сопровождения системы стратегического планирования.* Одна из новых уставных задач Российской академии наук – прогнозирование основных направлений научного, научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации – относится к задачам стратегического планирования. Система стратегического планирования – один из ведущих государственных институтов, обеспечивающих формирование и реализацию стратегических задач развития страны. В передовых странах задачи стратегического планирования решаются на основе результатов системных фундаментальных научных исследований по широкому спектру направлений.

В Российской Федерации в деле определения стратегических направлений развития страны особая роль отводится фундаментальной науке. Так, в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации говорится: “Необходимо обеспечить готовность страны к большим вызовам, ещё не проявившимся и не получившим широкого общественного признания, предусмотреть своевременную оценку рисков, обусловленных научно-технологическим развитием. Ключевую роль в этом должна сыграть российская фундаментальная наука, обеспечивающая получение новых знаний и опирающаяся на собственную логику развития. Поддержка фундаментальной науки как системообразующего института долгосрочного развития нации является первоочередной задачей государства”.

Российская академия наук – единственная структура в стране, которая объединяет ведущих учёных, работающих по всему спектру научных направлений. Тем самым РАН имеет возможность комплексно анализировать вопросы, касающиеся стратегических направлений развития страны. РАН принимает активное участие в работе Научного совета при Совете безопасности РФ. Члены РАН возглавляют ряд секций Научного совета, в том числе секцию по проблемам стратегического планирования. Предложения РАН по совершенствованию системы стратегического планирования регулярно направляются в Совет безопасности РФ, в Правительство РФ, в органы государственной власти.

В октябре 2018 г. Правительство РФ поручило Минфину России проработать вопросы финансирования работ РАН по ряду направлений, в том числе по научному сопровождению системы стратегического планирования. В декабре 2018 г. Президент России В.В. Путин поддержал предложения РАН о развёртывании в Российской академии наук работ по научному сопровождению системы стратегического планирования, в том числе:

- по созданию в структуре РАН специализированного подразделения, обеспечивающего проведение научных работ в интересах научного сопровождения стратегического планирования;
- по формированию межведомственной программы в целях проведения полномасштабных фундаментальных и прикладных научных исследований в интересах совершенствования системы стратегического планирования.

В соответствии с Поручением Президента РФ вопрос об участии РАН в работах по стратегическому планированию рассматривался на совещании Совета безопасности РФ 5 февраля 2019 г. и на заседании Научно-экспертного совета при Председателе Совета Федерации ФС РФ.

В 2019 г. в соответствии с принятыми решениями в РАН была проведена следующая работа:

- разработаны и направлены предложения о создании в структуре РАН специализированного подразделения, обеспечивающего комплексное научное сопровождение системы стратегического планирования и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации с проработкой его целей, основных задач и функций;

- подписано распоряжение “О создании Центра научного сопровождения стратегического планирования и прогнозирования РАН”;

- создан Научно-координационный совет РАН по проблемам прогнозирования и стратегического планирования в Российской Федерации;

- организован научный семинар по проблемам стратегического планирования и прогнозирования;

- в рамках программ научных исследований, выполняемых по приоритетным направлениям, определяемым президиумом РАН, в 2018–2019 гг. была реализована программа “Большие вызовы и научные основы прогнозирования и стратегического планирования”, в которой приняли участие ведущие академические институты, в том числе: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, ИМЭМО РАН, Институт экономики РАН, Институт проблем развития науки РАН и др.;

- работы по стратегическому планированию и прогнозированию включены в качестве самостоятельного раздела в проект Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период, одобренный Общим собранием членов РАН и в настоящее время находящийся на рассмотрении в Правительстве РФ. Предполагается, что Российская академия наук будет самостоятельно осуществлять управление этим разделом, включая распределение средств;

- проведено совещание в Минэкономразвития России с участием Минобрнауки России и РАН по вопросам формирования перечня основных фундаментальных исследований и определения источников финансирования работ подразделения РАН, осуществляющего научно-методическое и экспертно-аналитическое обеспечение деятельности в сфере стратегического планирования социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации. Участники совещания согласились с мнением РАН, что в целях обеспечения финансирования работ такого подразделения требуется внести изменения в Устав РАН, имея в виду расширение основных видов деятельности РАН, которые следует дополнить формулировкой “осуществляет научно-методическое, экспертно-

аналитическое обеспечение деятельности в сфере стратегического планирования социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации”;

- заместителю председателя Правительства РФ Т.А. Голиковой направлены предложения РАН по внесению изменений в Устав РАН;

- в ноябре 2019 г. президент РАН представил Президенту РФ предложения РАН по внесению изменений в Федеральный закон № 253-ФЗ “О Российской академии наук...”, в том числе в части наделения РАН правом проведения научных исследований. Президент страны посчитал возможным наделить Академию наук таким правом и дал соответствующие поручения (от 11 ноября 2019 г. № Пр-2303).

Однако, несмотря на позицию Президента РФ, Совета безопасности и профильного заместителя председателя Правительства РФ, против наделения РАН правом вести научные исследования, в том числе по научному сопровождению стратегического планирования, до сих пор выступает Минфин России. В результате в госзадание РАН на 2020 г. не были включены работы по научному сопровождению системы стратегического планирования, как не были выделены требуемые дополнительные ресурсы, необходимые для проведения этих работ. Таким образом, РАН не имеет возможностей для организации и проведения полномасштабных научных исследований в интересах научного сопровождения системы стратегического планирования. В настоящее время эти задачи выполняет Информационно-аналитический центр “Наука” РАН, обеспечивающий научно-методическое и экспертно-аналитическое сопровождение осуществления функций РАН по участию в формировании и реализации государственной научно-технической политики.

Полномасштабные фундаментальные и прикладные исследования в интересах научного сопровождения системы стратегического планирования могут быть развернуты РАН в кратчайшие сроки в случае принятия Правительством Российской Федерации необходимых решений.

## РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Финансирование научных исследований и разработок из средств федерального бюджета.** Федеральный бюджет является ключевым инструментом реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации: на его долю приходится около 70% совокупных затрат на научные исследования и разработки. Поэтому от объема и структуры расходов федерального бюджета во многом зависит результативность научной, научно-технической и инновационной

**Таблица 4.** Стратегические установки финансового обеспечения науки

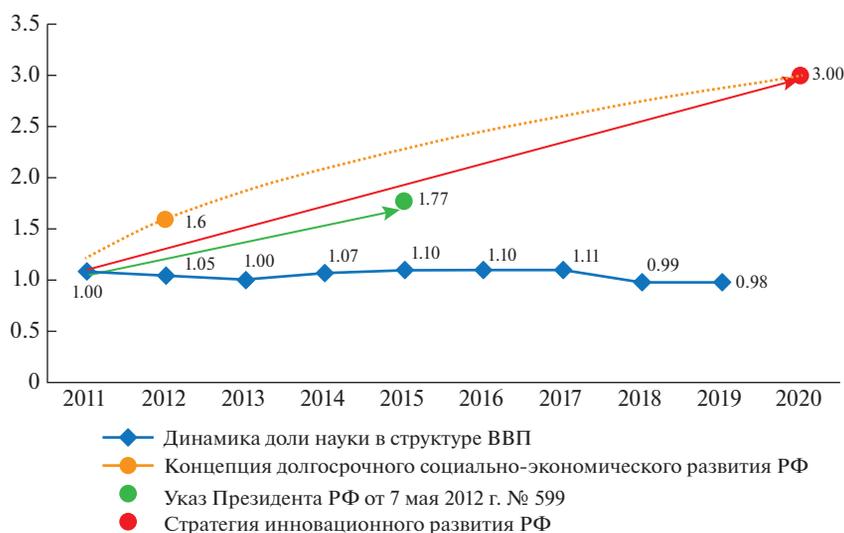
Документ	Принят	Доля науки в структуре ВВП, %
Стратегия Российской Федерации в области развития науки и инноваций на период до 2015 г.	14.02.2006	1.8% ВВП к 2015 г. (инерционный сценарий)
		2.5% ВВП к 2015 г. (с учётом реализации Стратегии)
Концепция долгосрочного социально-экономического развития	17.11.2008	1.6% ВВП к 2012 г., 3% ВВП к 2020 г.
Стратегия инновационного развития России до 2020 г.	08.12.2011	2.5–3% ВВП к 2020 г. (в 2010 г. – 1.3%), из них больше половины – за счёт частного сектора
Указ Президента России	07.05.2012 г. № 599	1.77% ВВП к 2015 г. – затраты на исследования и разработки
Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации	01.12.2016	Не менее 2% ВВП к 2035 г.
Указ Президента России	07.05.2018 г. № 204	Устанавливается, что к 2024 г. следует обеспечить опережающее увеличение внутренних затрат на научные исследования и разработки за счёт всех источников по сравнению с ростом ВВП

деятельности, повышение конкурентоспособности страны на мировом рынке, рост уровня и качества жизни населения.

В Указе Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 599 была поставлена задача увеличения к 2015 г. затрат на исследования и разработки до 1.77% ВВП. Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации предусматривается поэтапное увеличение данных затрат и доведение их к 2035 г. до уровня не менее 2% ВВП. Достижение этой цели планируется осуществить за счёт опережающего темпа роста внутренних затрат на ис-

следования и разработки по отношению к темпам роста ВВП. Предполагалось, что соотношение данных показателей будет равно 1, а с 2019 г. увеличится до 1.02 (табл. 4, рис. 1).

Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 устанавливается необходимость обеспечения к 2024 г. опережающего роста внутренних затрат на научные исследования и разработки по сравнению с ростом ВВП страны за счёт всех источников. Фактически доля науки в структуре ВВП с 2010 г. по настоящее время варьируется в диапазоне 1.0–1.1% ВВП (см. рис. 1).

**Рис. 1.** Динамика доли науки в структуре ВВП, %



Источник: Наука, технологии и инновации России: крат. стат. сб. / Гл. ред. Л.Э.Миндели. М.: ИПРАН РАН, 2007–2019.

Рис. 2. Динамика и структура внутренних затрат на исследования и разработки, 2011–2019 гг.

Основным показателем, характеризующим научную и научно-техническую деятельность и определяющим уровень выделяемых финансовых средств на осуществление этой деятельности, является объём внутренних затрат на исследования и разработки. Динамика внутренних затрат и соотношение государственных и внебюджетных источников в структуре данного показателя представлены на рисунке 2.

По результатам отчётов об исполнении федеральных бюджетов в период с 2016 по 2019 г. включительно (табл. 5) можно сделать вывод о том, что государственное финансирование научных исследований увеличивается в абсолютном значении, хотя по отношению к ВВП страны это изменение в последние годы разнонаправлено. В 2019 г. намечился небольшой рост государственных расходов на науку по отношению к ВВП страны.

Анализ выделения средств федерального бюджета на научные исследования за 2018–2019 гг. показывает, что в абсолютных величинах наиболее существенно увеличилось финансирование фундаментальных исследований (на 29%). Замечен также рост госрасходов на прикладные научные исследования в области социальной политики, национальной экономики, здравоохранения, физической культуры и спорта, жилищно-коммунального хозяйства. Несмотря на прикладной характер этих исследований, то есть их принадлежность к той категории, где предполагается активное участие частного сектора, увеличение государственных расходов на эти направления представляется целесообразным, поскольку отве-

чает интересам социального развития и национальной безопасности, особенно актуальным в современной нестабильной политической обстановке в мире.

Постановлением Правительства РФ от 29 марта 2019 г. № 377 были установлены целевые значимые показатели реализации государственной программы “Научно-технологическое развитие Российской Федерации”, в соответствии с которыми внутренние затраты на исследования и разработки в 2018 г. должны были составить 1110.2 млрд руб. (фактическое значение – 1028.2 млрд руб.), при этом предполагалось, что доля внебюджетных источников в структуре данного показателя достигнет 52% (фактическое значение – 35.7%), а в 2019 г. – 1200.58 млрд руб. (фактическое значение – 1080.3 млрд).

**Рекомендации об объёме средств, предусматриваемых в федеральном бюджете на 2020–2022 гг. на финансирование фундаментальных научных исследований.** Согласно ст. 7 Федерального закона Российской Федерации от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук...” РАН разрабатывает и представляет в Правительство РФ рекомендации об объёме средств, предусматриваемых в федеральном бюджете на очередной финансовый год на финансирование фундаментальных и поисковых научных исследований, проводимых научными организациями и образовательными организациями высшего образования, и об их использовании.

Увеличение государственных расходов на фундаментальные исследования происходит в соответствии с уточнённой росписью расходов фе-

**Таблица 5.** Ассигнования на научные исследования из средств федерального бюджета по видам и направлениям научных исследований в 2016–2019 гг., млрд руб.

Наименование	2016	2017	2018	2019*
Фундаментальные исследования	104.44	116.28	148.23	191.25
Прикладные научные исследования в области социальной политики	0.12	0.18	0.25	0.34
Прикладные научные исследования в области охраны окружающей среды	0.53	0.65	0.98	0.85
Прикладные научные исследования в области общегосударственных вопросов	14.73	18.32	22.51	24.22
Прикладные научные исследования в области образования	11.58	12.7	14.17	14.15
Прикладные научные исследования в области национальной экономики	215.64	172.7	159.18	182.32
Прикладные научные исследования в области национальной обороны	17.62	11.63	15.87	14.37
Прикладные научные исследования в области национальной безопасности и правоохранительной деятельности	2.73	2.45	2.81	2.99
Прикладные научные исследования в области культуры, кинематографии	0.34	0.25	0.49	0.46
Прикладные научные исследования в области здравоохранения	18.69	18.9	24.65	28.21
Прикладные научные исследования в области жилищно-коммунального хозяйства			0.65	0.74
Прикладные научные исследования в области физической культуры и спорта	0.27	0.25	0.25	0.45
Прикладные научные исследования в области средств массовой информации	0.01			
Всего	386.7	354.32	390.05	460.35

\*Данные за 2019 г. приведены из отчёта об исполнении федерального бюджета, опубликованного 15.05.2020 г. на сайте Федерального казначейства России.

Источники: официальный сайт Федерального казначейства России (roskazna.ru); официальный сайт Министерства финансов России (minfin.ru); официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (<https://www.gks.ru/>) (дата обращения 09.06.2020), расчёты ИПРАН РАН.

дерального бюджета: в 2019 г. они составили 0.17% ВВП России. Запланировано увеличение данного показателя в период с 2020 по 2022 г. Согласно проекту Федерального закона “О федеральном бюджете на 2020 год и на плановый период 2021 и 2022 годов” расходы федерального бюджета на фундаментальные научные исследования составят: 192.0 млрд руб. в 2020 г.; 217.6 млрд руб. в 2021 г. и 252.2 млрд руб. в 2022 г. В процентах к ВВП удельный вес расходов на фундаментальные научные исследования должен расти: в 2020 г. – 0.17%, в 2021 г. – 0.18%, в 2022 г. – 0.19%. Можно констатировать, что положение, зафиксирован-

ное на заседании Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, состоявшемся 24 июня 2015 г., о ежегодном объёме бюджетных ассигнований на фундаментальную науку на уровне не ниже 0.15% ВВП выполняется.

Однако достижение поставленных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации целей требует увеличения данного показателя<sup>1</sup> как минимум до 0.4% ВВП к 2026 г., что позволит обеспечить финансирование

<sup>1</sup> См.: Ресурсное обеспечение российской науки: проблемы и решения. М.: Ин-т проблем развития науки РАН, 2019.



Рис. 3. Внутренние затраты на фундаментальные исследования в России и зарубежных странах, 2018 г., % ВВП

российской фундаментальной науки на уровне, сравнимом с аналогичными инвестициями в наиболее технологически развитых странах, например Корею, США или Израиле (рис. 3). Целевого показателя финансирования фундаментальной науки 0.4% ВВП можно достичь при постепенном повышении объёмов инвестирования в науку, рекомендованные значения которых на 2020–2022 гг. представлены в таблице 6. Реализация такого сценария возможна при условии содействия государства развитию фундаментальной науки как системообразующего института долгосрочного развития нации (Стратегия НТР, п. 21).

**Материально-техническая база.** Материально-техническая база научных организаций, её состо-

яние и динамика развития определяют уровень проводимых в стране научных исследований. Наличие современного научного оборудования является залогом успеха и мирового лидерства. Это положение особенно актуально для современной фундаментальной науки, которая характеризуется неразрывностью теоретических и экспериментальных исследований. Более того, в некоторых передовых областях (например, в материаловедении, нано- и биотехнологиях) сама возможность проведения исследований и получения нового знания в значительной степени зависит от наличия новейшей приборной базы. Обеспеченность научных организаций современным исследовательским оборудованием — одно из

Таблица 6. Рекомендации по бюджетному финансированию фундаментальной науки на период 2020–2022 гг.

Наименование, млрд руб.	2020	2021	2022
Рекомендуемая доля финансирования фундаментальных исследований в ВВП, %	0.19	0.25	0.3
ВВП*, млрд руб.	112863	120364	128508
Фундаментальные исследования, млрд руб., всего	218.33	301.63	386.14
в том числе:			
РАН, млрд руб.	5.19	7.17	9.18
фундаментальные исследования, финансируемые государственными научными фондами, млрд руб.	27.08	37.42	47.90
Министерство науки и высшего образования РФ, включая академические институты и вузовский сектор, млрд руб.	170.08	234.97	300.80
фундаментальные исследования, выполняемые НИЦ, ГНЦ, прочими научными учреждениями и организациями, млрд руб.	15.98	22.08	28.26

\*Расчёт ВВП сделан на основе законопроекта о федеральном бюджете на 2020–2022 гг.

**Таблица 7.** Некоторые показатели состояния приборного парка академических научных организаций

Отделение РАН	Фондовооружённость на одного научного сотрудника, тыс. руб.	Средний возраст приборного парка, лет	Фондовооружённость на одного научного сотрудника зарубежных лабораторий в ведущих научных центрах, тыс. руб.
Отделение медицинских наук	10262	9.5	44100 (США)
Отделение физических наук	3277	12.0	36900 (Англия)
Отделение химии и наук о материалах	2584	11.6	37800 (Япония)
Отделение биологических наук	2445	9.9	22050 (США)
Отделение наук о Земле	2243	10.8	34500 (Германия)
Отделение сельскохозяйственных наук	765	11.8	36900 (Англия)

главных условий конкурентоспособности национальной науки.

Помимо прочего, оснащённость институтов и лабораторий современным исследовательским инструментарием значительно повышает привлекательность научной деятельности для молодых специалистов, так как обеспечивает возможность получения высоких результатов исследований и, как следствие, карьерный рост и признание. То есть это одно из базовых условий вовлечения молодёжи в науку.

Основная проблема здесь — устаревание приборного парка. Особенно это заметно на фоне активного обновления экспериментальной базы в зарубежных странах, где происходит быстрое внедрение исследовательского оборудования нового поколения.

Показателем материально-технической базы научных организаций является фондовооружённость на одного сотрудника, занятого в сфере исследований и разработок. В целом по стране за период 2014–2018 гг. фондовооружённость исследований возросла в 1.55 раза (1484.7 тыс. руб./чел.), в секторе высшего образования — в 1.14 раза (1141.7 тыс. руб./чел.). При этом фондовооружённость исследователей организаций академического сектора науки, напротив, снизилась на 9% и составила всего 966.1 тыс. руб./чел.

Аналогичное соотношение сложилось и по параметру техновооружённости, характеризующему приборную базу организаций. К 2018 г. в среднем техновооружённость достигла 626.7 тыс. руб./чел., в университетском секторе — 468.1 тыс. руб./чел., в академическом секторе — 431.7 тыс. руб./чел. Отставание сектора академической науки и сектора вузовской науки по техновооружённости — одна из важнейших причин, тормозящих получение новых конкурентноспособных результатов в сфере фундаментальных

и поисковых исследований для развития реального сектора экономики страны.

Обследование 4011 научных и образовательных организаций показало состояние их приборной базы на начало 2019 г.:

- полная учётная стоимость машин и оборудования организаций, выполняющих исследования и разработки, достигает 1120 млрд руб.;

- объём стоимости приборной базы данных организаций составляет 530 млрд руб., из них стоимость приборной базы ведущих организаций (284 организации) — 159.5 млрд руб.

Коэффициент обновления основных средств по машинам и оборудованию в целом по научным и образовательным организациям — 6.7% в год, при этом коэффициент обновления основных средств в академическом секторе науки — лишь около 5% в год. В 20% указанных организаций выбытие основных средств превышает поступление, что связано с существенным износом оборудования. Коэффициент износа основных средств по машинам и оборудованию составляет свыше 67%, а средний возраст используемого оборудования — свыше 10 лет. На необходимость модернизации инфраструктуры фундаментальной науки, переоснащения лабораторий, закупки нового оборудования и реактивов для экспериментальных работ указывают 96.2% респондентов, опрошенных РАН в 2019 г.

Состояние исследовательской инфраструктуры, фондо- и техновооружённость институтов и лабораторий нельзя признать достаточными для обеспечения конкурентоспособности научных исследований на мировом уровне и решения стратегических задач развития государства. По экспертным оценкам, финансирование материальной базы науки в нашей стране и передовых

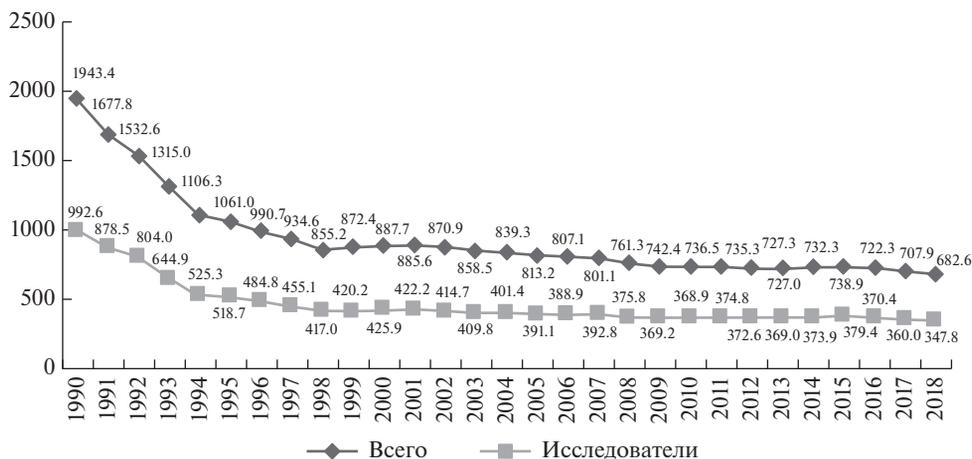


Рис. 4. Численность персонала, занятого исследованиями и разработками, и исследователей, тыс. человек

экономиках в расчёте на одного учёного различается в десятки раз (табл. 7).

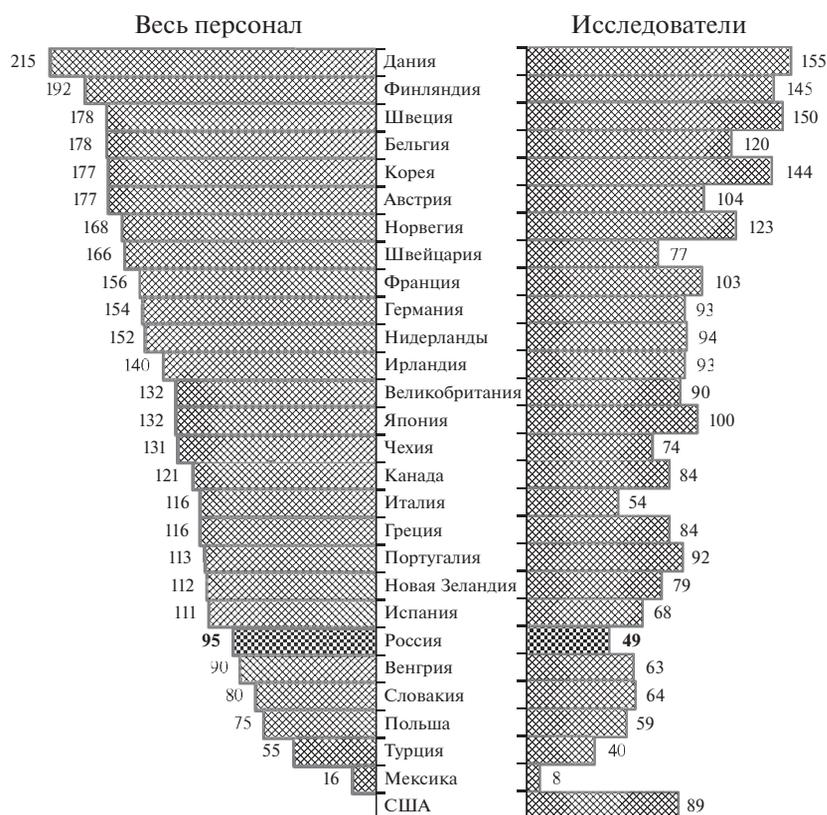
Ещё одна важная проблема связана с тем, что в условиях экономических санкций сокращается возможность закупки некоторых видов научного оборудования за рубежом. По отдельным научным направлениям это может привести к критической ситуации, так как в последнее время развитие материально-технической базы научных организаций происходило в основном за счёт импортного оборудования. В то же время в российских научных организациях разработаны собственные современные исследовательские приборы и оборудование. Многие из них существуют в виде действующих демонстрационных макетов или опытных образцов, некоторые выпускаются в единичных экземплярах или мелкими сериями и готовы к тиражированию. По оценкам специалистов, по своим характеристикам в значительном числе случаев они не уступают лучшим зарубежным образцам. Однако имеющийся научно-технический задел не реализуется в виде масштабного выпуска исследовательского оборудования. В результате упускается возможность не только улучшения материально-технической базы российской фундаментальной науки, но и выхода отечественных предприятий на зарубежные рынки высокотехнологичной продукции.

На решение проблем, связанных с недостаточной приборовооружённостью нашей науки, ориентирован национальный проект «Наука», в котором развитие материально-технической и приборной базы определено в качестве одного из приоритетов. К 2024 г. приборную базу ведущих организаций страны, выполняющих исследования и разработки, планируется обновить не менее чем на 50%. На это предполагается выделить почти 90 млрд руб. в форме субсидий из федерального бюджета.

**Характеристика кадрового потенциала научно-исследовательской сферы.** Серьёзной проблемой современной российской науки остаётся сокращение персонала, занятого исследованиями и разработками, которое происходит в результате миграции учёных в разные сферы российской экономики и за рубеж (рис. 4).

По данным Росстата, численность персонала, занятого исследованиями и разработками, и исследователей составила в 2018 г. 682,6 тыс. и 347,8 тыс. человек соответственно. Это практически в 3 раза меньше, чем в 1990 г., и на 20% меньше, чем в 2000 г. Сокращение численности персонала за период с 1990 по 2018 г. достигло 1260,8 тыс. человек, а исследователей – 644,8 тыс. человек. Доля персонала, занятого исследованиями и разработками, в общей численности занятых в экономике уменьшилась с 2,6% в 1990 г. до 1% к 2019 г. Численность персонала, занятого исследованиями и разработками, в научных организациях Российской Федерации за 10 лет сократилась примерно на 173 тыс. человек, исследователей – на 70 тыс.

Пока ещё абсолютные показатели кадрового потенциала научно-исследовательской сферы России достаточно велики. Однако по численности персонала, выполняющего научные исследования и разработки, в расчёте на 10 000 занятых в экономике (95 человек) Россия занимает одно из последних мест среди стран с развитыми инновационными системами или активно их создающими. Причём это отставание постоянно нарастает, так как практически во всех странах происходит увеличение числа исследователей (рис. 5). Численность исследователей на 10 000 занятых в экономике России составляет 49 человек, что ниже среднего значения по странам – членам ОЭСР (см. рис. 5).



Источник: Россия (2018 г.) – расчёт ИПРАН; страны ОЭСР – представлены в эквиваленте полной занятости, последний год, по которому имеются данные – рассчитано по данным [MSTI].

Рис. 5. Численность персонала, занятого исследованиями и разработками, на 10 тыс. человек, занятых в экономике России и стран ОЭСР, тыс. человек

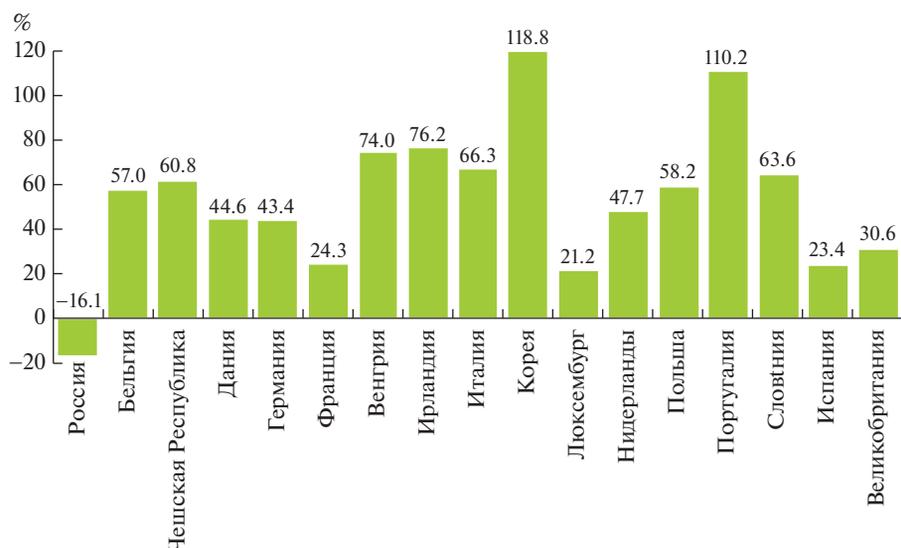
В большинстве стран с развитой рыночной экономикой с начала 2000-х годов численность научных кадров устойчиво увеличивалась (рис. 6). Особенно значительным этот рост был в Корее, Португалии и Ирландии. В странах с мощными научными системами – Германии, Великобритании и Франции – рост был умеренным – порядка 20–40%. Россия – единственное исключение из мирового тренда наращивания кадрового научного потенциала: за 2005–2018 гг. в нашей стране численность персонала, занятого исследованиями и разработками, не только не выросла, но уменьшилась более чем на 16%.

Российская наука теряет свое главное богатство – интеллектуальный капитал, формирование которого происходило в течение длительного времени. Быстро восполнить эти потери невозможно в силу специфики научного труда, постепенного приобретения исследовательских навыков и сложности адаптации в науке специалистов из других сфер экономики. Поэтому увеличение числа исследователей стало одной из острых проблем реализации государственной научно-технической политики. Эта задача должна решаться прежде всего путём расширения подготовки мо-

лодых кадров в системе высшего образования и создания для них условий, стимулирующих закрепление и быстрый профессиональный рост в научной среде. Необходимо, чтобы карьера учёного вновь стала престижной и могла конкурировать с другими современными профессиями. В национальном проекте “Наука” подготовке исследовательских кадров посвящён отдельный федеральный проект.

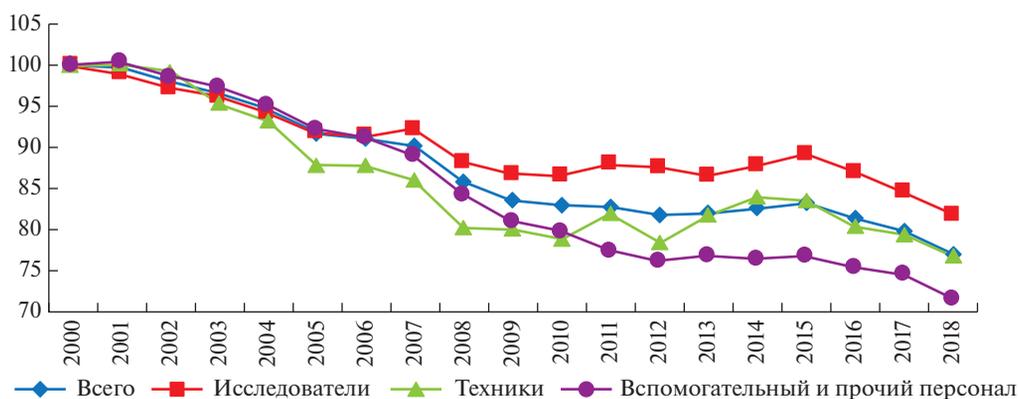
Для рассматриваемого периода тенденция к сокращению сохраняется для всех категорий научных кадров. Так, численность исследователей составила в 2018 г. только 81.7% от уровня 2000 г., техников – 76.8%, а вспомогательного и прочего персонала – 71.6% (рис. 7). В настоящее время доля исследователей среди всего персонала, занятого исследованиями и разработками, составляет 51% и несколько превышает уровень 2000 г. Удельный вес техников не изменился и остаётся на уровне 8%. Доля вспомогательного и прочего персонала уменьшилась за этот период с 43.5% до 40.5%.

На фоне сокращения числа занятых в науке наблюдается увеличение доли исследователей, имеющих учёные степени – с 24.9% в 2000 г. до



Источник: Россия (2018 г.) – расчёт ИПРАН; зарубежные страны представлены в ЭПЗ – рассчитано по данным [MSTI].

Рис. 6. Изменение численности персонала, занятого исследованиями и разработками, в некоторых странах ОЭСР, 2018 г., % к 2005 г.



Источник: рассчитано по данным Росстата.

Рис. 7. Динамика численности персонала, занятого исследованиями и разработками, по категориям (2000 г. = 100%)

28.9% в 2018 г. (рис. 8). Начиная с 2010 г. рост абсолютной численности докторов и кандидатов наук несколько приостановился и удельный вес исследователей с учёными степенями практически не менялся.

Результативность и производительность научных исследований во многом определяется возрастной структурой научного персонала. И для нас это серьёзная проблема. Нарушились связи между поколениями, обеспечивающие преемственность знаний. Это наглядно отражается в уменьшении численности учёных среднего возраста (от 40 до 60 лет), являющихся основными носителями знаний и воспитателями научной молодёжи (рис. 9). Несмотря на то, что доля исследователей в возрасте до 29 лет возросла с 2000 г.

почти на 7%, такая динамика не обеспечивает в полной мере воспроизводства научных кадров.

В аспирантуру поступают 2–2.5% выпускников вузов, из которых только около половины заканчивают её (хотя и с опозданием по представлению диссертации). Поскольку число выпускников вузов достигает в настоящее время 70–80% от общей численности молодёжи соответствующей возрастной группы, аспирантуры России выпускают до 1% подготовленных для научной деятельности работников от общей численности российской молодёжи. Это больше простого уровня воспроизводства кадров на уровне ОЭСР (0.76% экономически активного населения) (данные Росстата и MSTI). Основные проблемы возникают в первое десятилетие пребывания в науке. По различным оценкам, от 30 до 50% моло-

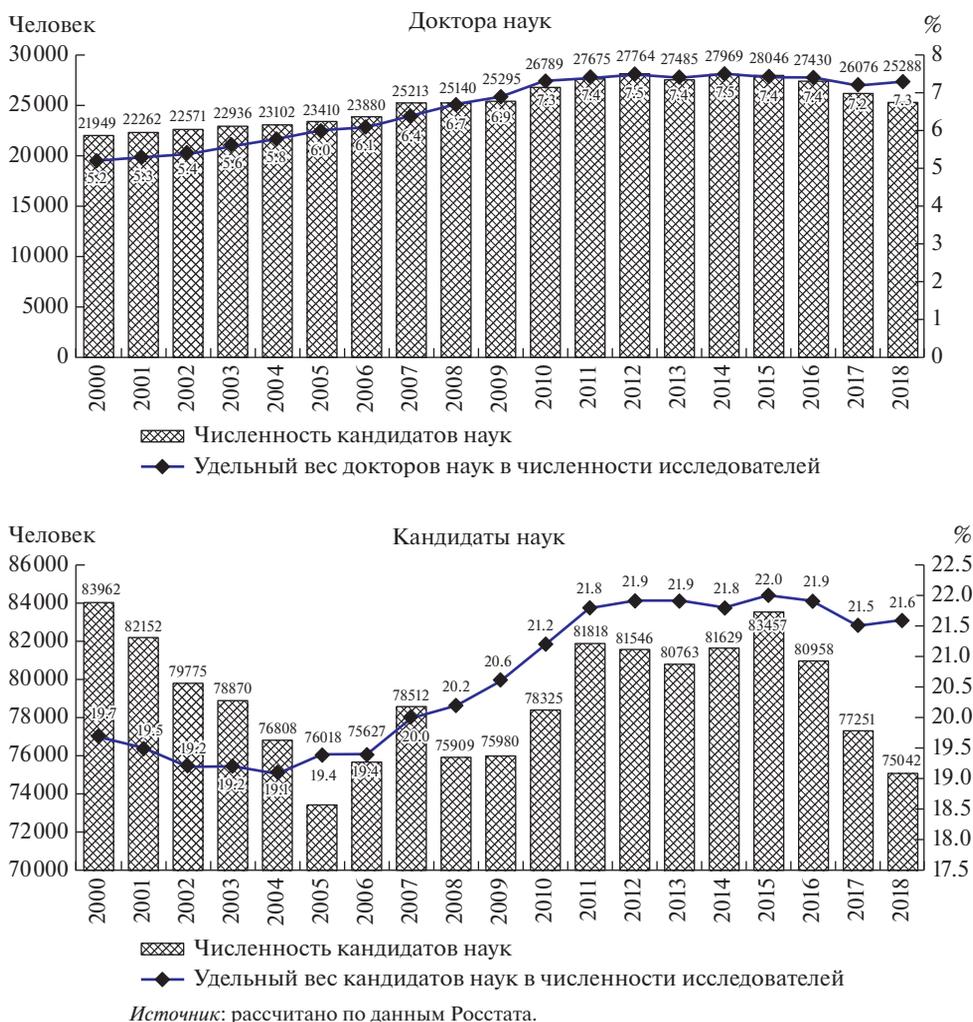


Рис. 8. Исследователи с учёными степенями, человек

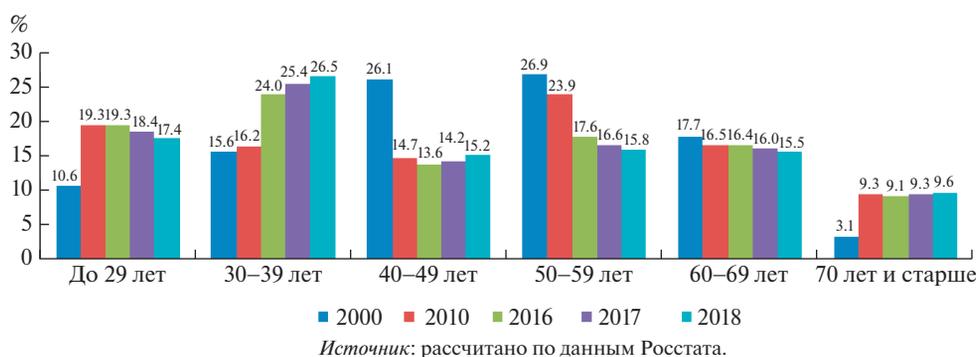


Рис. 9. Распределение исследователей по возрастным группам, %

дых людей уходят из науки в более доходные сферы экономики.

Другая проблема – миграционные настроения значительной части выпускников лучших отечественных вузов. По экспертным оценкам, им подвержены до 20% общей численности студен-

тов. Причём эта ситуация может обостриться на фоне продолжения кризисных явлений в экономике. Динамика возрастной структуры представлена на рисунке 9.

Не способствовала закреплению молодёжи в науке и норма Федерального закона от 29 декабря

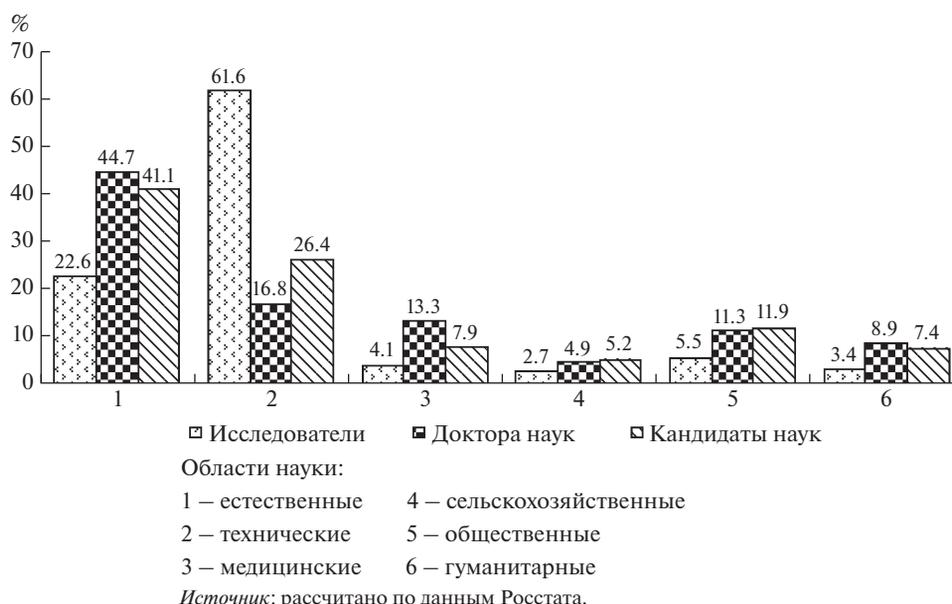


Рис. 10. Распределение исследователей по областям науки, 2018 г., %

2012 г. № 273-ФЗ “Об образовании в Российской Федерации”, согласно которому аспирантура является не первым шагом научной карьеры, а третьим уровнем высшего образования – подготовкой научно-педагогических кадров высшей квалификации. В 2019 г. наконец принят долгожданный закон, восстанавливающий аспирантуру как институт подготовки кадров высшей квалификации для науки. Ожидается, что это решение принесёт плоды уже в ближайшие годы.

Наиболее стабильный показатель – распределение исследователей по областям науки. На протяжении многих лет основная часть учёных традиционно занимается техническими науками: их доля в 2018 г., так же как и в 1990 г., составляла более 60%. В области естественных наук занято около 23% всех российских исследователей, медицинских наук – 4.1%, общественных и гуманитарных – соответственно 5.5% и 3.4%, сельскохозяйственных – 2.7% (рис. 10).

#### МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

**Основные положения Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2035 гг.).** Проект Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2035 гг.) (далее – Программа) разработан в соответствии со ст. 17 Федерального закона РФ от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении из-

менений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”.

В проекте Программы были учтены:

- Федеральный закон РФ от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ “О науке и государственной научно-технической политике”;
- Федеральный закон РФ от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ “О стратегическом планировании в Российской Федерации”;
- Стратегия национальной безопасности Российской Федерации, утверждённая Указом Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683;
- Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 “О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года”;
- Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённая Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 и поручение Президента РФ от 15 января 2017 г. № Пр-75 по её реализации;
- Перечень поручений по итогам заседания Совета при Президенте РФ по науке и образованию, состоявшегося 27 ноября 2018 г.

Указанные документы определяют создание эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала нации для обеспечения независимости и конкурентоспособности страны. В них устанавливается, что поддержка фундаментальной науки как системообразующего института долгосрочного развития нации является первоочередной задачей государства. При этом ставится зада-

ча обеспечить парирование угроз, обусловленных так называемыми “большими вызовами”, определяемыми как “объективно требующая реакции со стороны государства совокупность проблем, угроз и возможностей, сложность и масштаб которых таковы, что они не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счёт увеличения ресурсов”.

Важнейшими предпосылками при разработке Программы стали следующие обстоятельства.

В Российской Федерации основной массив фундаментальных научных исследований проводится академическими научными организациями, национальными исследовательскими центрами, федеральными ядерными центрами, государственными научными центрами, ведущими университетами, прежде всего Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургским государственным университетом, федеральными и национальными исследовательскими университетами.

Основная проблема организации фундаментальных научных исследований – координация деятельности организаций различной организационно-правовой формы, работающих в рамках различающейся нормативной правовой базы. Исходя из этого особое внимание при разработке Программы было уделено созданию целостной системы организации фундаментальных научных исследований в Российской Федерации.

*Цель Программы:* Получение новых фундаментальных знаний об основах мироздания, закономерностях развития природы, человека и общества в интересах социально-экономического, научно-технологического развития и обеспечения национальной безопасности Российской Федерации.

*Задачи Программы:*

- создание междисциплинарного научного задела, обеспечивающего научно-технологический прорыв по приоритетным направлениям науки и техники;
- создание междисциплинарного научного задела, обеспечивающего научно-методологический прорыв в сфере общественно-гуманитарных наук как важнейшего направления развития современного общества;
- воспроизводство и развитие научных и научно-педагогических кадров, поддержка ведущих научных школ;
- развитие международного научного и научно-технического сотрудничества;
- формирование единой системы управления научно-технологическим комплексом страны.

*Принципы формирования и реализации Программы:*

- единство требований для исполнителей фундаментальных научных исследований независимо от ведомственной принадлежности и ор-

ганизационно-правовой формы, с учётом специфики отдельных отраслей науки;

- ресурсная обеспеченность (соответствие финансового, материально-технического и кадрового обеспечения уровню научных задач, стоящих перед конкретными фундаментальными исследованиями);
- охват фундаментальных исследований от естественных до гуманитарных наук, от монодисциплинарных до междисциплинарных форм исследований (индивидуальные, коллективные) на всех их этапах;
- свобода научного поиска (творчества);
- самостоятельность в выборе методов и средств реализации научных проектов, научных исследований и разработок;
- соответствие компетентности и квалификации исполнителей уровню поставленных задач.

Структурно Программа включает шесть подпрограмм, сформулированных с учётом принятых стратегических документов, действующего законодательства и поручений Президента Российской Федерации.

1. Аналитические исследования, определение и прогнозирование перспективных и критически важных направлений современной науки, выявление больших вызовов, совершенствование системы стратегического планирования.

2. Фундаментальные научные исследования.

3. Фундаментальные исследования, проводимые на уникальных научных установках и объектах “мегасайенс”.

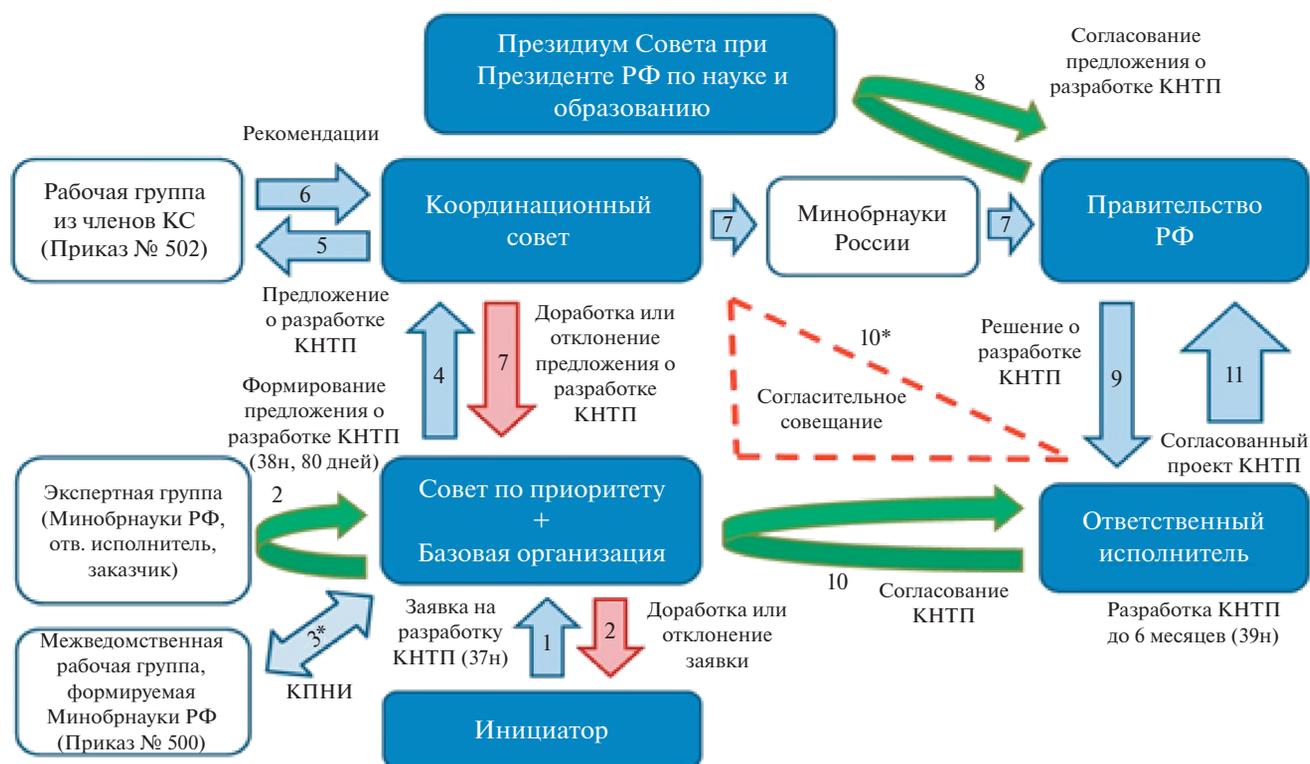
4. Ориентированные фундаментальные исследования по направлениям Стратегии НТР.

5. Инициативные фундаментальные научные исследования, финансируемые фондами поддержки научной и научно-технической деятельности и из внебюджетных источников.

6. Научные исследования, реализуемые в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обеспечения обороны и безопасности государства.

В результате реализации Программы предполагается получить следующие результаты:

- создать задел для формирования современной научной и технологической базы социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности страны;
- сформировать систему подготовки научных кадров высшей квалификации, включая научную аспирантуру и ведущие научные школы;
- обеспечить единство научно-технологического и образовательного комплекса страны;
- создать систему координации фундаментальных научных исследований в масштабах страны;



**Рис. 11.** Схема инициирования, разработки и утверждения комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 19 февраля 2019 г. № 162

- повысить престиж профессии учёного и осведомлённость общества о российских научных достижениях.

**Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Нормативное правовое обеспечение научно-технологического развития.** Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 г. (Стратегия НТР) утверждена Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642. В целях реализации Стратегии приняты следующие документы.

1. План мероприятий по реализации Стратегии НТР на 2017–2019 годы (первый этап), утверждён распоряжением Правительства РФ от 24 июня 2017 г. № 1325-р. Распоряжением Правительства РФ от 26 сентября 2017 г. № 2048-р в План внесены изменения и дополнения. Согласно п. 8 Плана в срок до 30.03.2018 г. должно было быть утверждено не менее одной КНТП по каждому приоритету научно-технологического развития Российской Федерации. Координатором выполнения Плана определено Минобрнауки России.

2. Постановление Правительства РФ от 17.01.2018 г. № 16 “Об утверждении Положения о создании и функционировании советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации”.

3. Постановление Правительства РФ от 01.10.2018 г. № 1168 “О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации”, которым внесены изменения в постановление Правительства РФ от 17.05.2016 г. № 429 “О требованиях к центрам коллективного пользования научным оборудованием и уникальным научным установкам, которые созданы и (или) функционируют которых обеспечивается с привлечением бюджетных средств, и правилах их функционирования”.

4. Постановление Правительства РФ от 07.04.2018 г. № 421 “Об утверждении Правил разработки и корректировки Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации и Правил мониторинга реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации”.

5. Постановление Правительства РФ от 19 февраля 2019 г. № 162 “Об утверждении Правил разработки, утверждения, реализации, корректировки и завершения комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла в целях обеспечения реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации” (рис. 11).

В соответствии с принятыми документами срок формирования предложений о разработке КНТП составляет 80 рабочих дней, а разработка КНТП ответственным исполнителем осуществляется в течение шести месяцев после принятия Правительством РФ решения о её разработке. Таким образом, с учётом всех рассмотрений, согласований и экспертизы проекта КНТП срок от момента подачи заявки инициатором на разработку КНТП до её утверждения Правительством РФ может составлять более одного года.

6. Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 23 апреля 2019 г. № 38н «Об утверждении порядка формирования советом по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации совместно с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и заинтересованными организациями предложений о разработке комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла и порядка направления данным советом указанных предложений в Координационный совет по приоритетным направлениям научно-технологического развития Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию».

7. Постановление Правительства РФ от 29 марта 2019 г. № 377 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации»» (ГПНТР) как одного из основных механизмов реализации Стратегии НТР и Основных направлений деятельности Правительства РФ на период до 2024 г. В ГПНТР установлен срок утверждения не менее одной КНТП по каждому приоритету научно-технологического развития Российской Федерации до 31 декабря 2021 г.

8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15 августа 2019 г. № 1824-р «Об утверждении Перечня показателей реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, динамика которых подлежит мониторингу».

*Обеспечение деятельности Координационного совета и Советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития.* Российская академия наук обеспечивает деятельность Координационного Совета по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации Совета при Президенте РФ по науке и образованию, а также координацию деятельности Советов по приоритетам в части проведения научной экспертизы программ и проектов и результатов, полученных в ходе их реализации.

За отчётный период проведено 57 заседаний Советов по приоритетам, на которых рассмотрены 93 заявки на разработку КНТП. Из них предварительно одобрено и дорабатываются 37 заявок, предусматривающих разработку 207 новых технологий. В стадии подготовки находится более 40 заявок и предложений о разработке КНТП.

На шести заседаниях Координационного совета по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации Совета при Президенте РФ по науке и образованию рассмотрены 16 предложений о разработке КНТП, представленных Советами по приоритетам, предусматривающих разработку 64 новых технологий на основе результатов фундаментальных научных исследований.

Для экспертизы предложений о разработке КНТП Координационным советом создавались рабочие группы, которые возглавлялись членами Координационного совета.

По результатам рассмотрения поступивших предложений о разработке КНТП на заседаниях Координационного совета были согласованы 10 предложений (6 Комплексных проектов и 4 Комплексные программы):

- КНТП «Иммунотерапия онкологических заболеваний»;
- КНТП «Новые композитные материалы: технологии конструирования и производства»;
- КНТП «Разработка технологий, систем проектирования, мониторинга и управления тепловым состоянием промышленных и гражданских объектов в условиях Арктики»;
- КНТП «Синтетические смазочные материалы для экстремальных условий»;
- КНТП «Разработка с последующим освоением производства комплексных систем автономного энергоснабжения на основе электрохимических источников тока высокой мощности с топливными процессорами»;
- КНТП «Разработка критических технологий высокоэффективных микрогазотурбинных энергоустановок мощностного ряда 30–200 кВт с апробацией в серийном производстве уникальных узлов базовой установки мощностью 30 кВт для решения актуальных задач энергоснабжения потребителей специального и гражданского назначения в отдалённых регионах страны»;
- КНТП «Системы поддержки принятия решений с учётом многофакторных рисков органами государственной власти, бизнес-структурами и международными организациями, основанные на методах искусственного интеллекта»;
- КНТП «Создание пилотного производства отечественных белковых компонентов — основы сухих молочных продуктов для питания новорождённых и детей до 6 месяцев»;

**Таблица 8.** Финансовое обеспечение национального проекта “Наука”, млн руб.

Наименование федерального проекта и источники финансирования	Объём финансового обеспечения по годам реализации						Всего
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Федеральный проект “Развитие научной и научно-производственной кооперации”	13149.84	24483.63	21613.41	26803.97	43575.65	88083.46	217709.96
в том числе:							
федеральный бюджет	5724.84	12596.9	7915.08	9790.43	11457.94	12419.86	59905.05
внебюджетные источники	7425.00	11886.73	13698.33	17013.54	32117.71	75663.60	157804.91
Федеральный проект “Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в Российской Федерации”	26270.87	29731.16	43803.83	71732.33	91404.82	87396.91	350339.92
в том числе:							
федеральный бюджет	20940.47	22495.76	36095.93	58104.43	73346.92	65989.01	276972.51
внебюджетные источники	5330.40	7235.40	7707.90	13627.90	18057.90	21407.90	73367.40
Федеральный проект “Развитие кадрового потенциала в сфере исследований и разработок”	11096.78	7103.22	11100.00	12510.00	13100.00	13000.00	67910.00
в том числе:							
федеральный бюджет	11096.78	7103.22	11100.00	12510.00	13100.00	13000.00	67910.00
внебюджетные источники	0	0	0	0	0	0	0

Источник: Отчёт Счётной палаты Российской Федерации от 19 декабря 2019 г. № ОМ-175/02-04.

• КНТП “Глобальные информационные спутниковые системы”;

• КНТП “Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твёрдых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья, при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения”.

Отправлены на доработку в Советы по приоритетам четыре предложения, а два поступивших предложения были отозваны самими Советами по приоритетам.

Согласованные Координационным советом инициативы о разработке 10 КНТП направлены в Минобрнауки России для представления в Правительство РФ. Эти предложения предусматривают разработку 50 качественно новых технологий на основе результатов фундаментальных научных исследований.

**Национальный проект “Наука”.** Основные параметры. Паспорт НП “Наука”, разработанный в соответствии с требованиями Указа Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 “О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года” (далее – Указ № 204), утверждён президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16).

Национальный проект включает три федеральных проекта:

- ФП 4-1. Развитие научной и научно-производственной кооперации;
- ФП 4-2. Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в Российской Федерации;
- ФП 4-3. Развитие кадрового потенциала в сфере исследований и разработок.

В 2019 г. была сформирована нормативная правовая база НП “Наука”. Согласно дополнительным и обосновывающим материалам НП

**Таблица 9.** Научно-образовательные центры мирового уровня

Центр	Направления деятельности
Нижегородская область	Суперкомпьютерное моделирование, геофизика, экология и генетика
Тюменская область, ХМАО, ЯНАО	Нефтегазовая отрасль
Пермский край	Горное дело, машиностроение, химическая промышленность, робототехника, интеллектуальный мониторинг и экологическая безопасность в области недропользования
Кемеровская область	Восстановление промышленных территорий в регионе, иммунопрепараты, оборудование и медикаменты для кардиохирургии, ГИП-практика
Белгородская область	Биотехнологии, селекционно-генетические исследования, разработки в области здорового питания, сквозные инжиниринговые технологии

“Наука” и входящим в его состав федеральным проектам этот национальный проект оказывает влияние на достижение шести из девяти национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 г., определенных Указом № 204. В таблице 8 показан объём финансирования национального проекта “Наука”, который в 2019 г. составил 50 517.49 млн руб. По итогам 2019 г. кассовое исполнение бюджета НП “Наука” было лучшим среди всех напоектов – 98.3%. В 2020 г. на финансирование этого национального проекта предусмотрено 61318.01 млн руб.

*Научно-образовательные центры мирового уровня.* В 2019 г. в рамках НП “Наука” на основе интеграции университетов и научных организаций и их кооперации с организациями, действующими в реальном секторе экономики, в стране созданы первые пять научно-образовательных центров мирового уровня. Утверждены программы их деятельности, правила представления грантов из федерального бюджета на оказание им государственной поддержки (табл. 9).

Советом по реализации Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019–2027 гг. определены:

- три центра геномных исследований, которые будут функционировать в форме консорциумов и обеспечат работу по четырём направлениям: “Биобезопасность и обеспечение технологической независимости”, “Генетические технологии для развития сельского хозяйства”, “Генетические технологии для промышленной микробиологии” и “Генетические технологии для медицины”;

- Центр геномных исследований мирового уровня по обеспечению биологической безопасности и технологической независимости в рамках Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий;

- Курчатowski геномный центр;

- Центр геномных исследований мирового уровня по обеспечению биологической безопасности и технологической независимости.

Создание центров станет основой для реализации первого этапа ФНТП по генетическим технологиям и обеспечит реализацию её ключевых задач.

Советом по государственной поддержке создания и развития математических центров мирового уровня определены четыре международных математических центра мирового уровня, выполняющих исследования и разработки по актуальным направлениям развития математики, два из которых будут созданы в Москве, по одному в Санкт-Петербурге и Новосибирской области (Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, Санкт-Петербургский международный математический институт им. Леонарда Эйлера, Московский центр фундаментальной и прикладной математики, а также Математический центр в Новосибирском Академгородке).

*Подготовка кадров.* Для подготовки нового поколения молодых учёных в России активную поддержку получают образовательные проекты и инициативы. Гранты выделяются из федерального бюджета для развития специализированных учебных научных центров по начальной подготовке высококвалифицированных кадров (далее – СУНЦ).

В 2019 г. поддержано четыре специализированных учебных научных центра. В 2020 г. планируется открытие ещё одного центра, всего к 2024 г. предполагается создать восемь СУНЦев. Финансирование центров в 2019 г. составило 700 млн руб., в 2020 г. планируется израсходовать на них 900 млн руб., в 2021 г. – 1600 млн руб.

Минобрнауки России оказана грантовая поддержка четырём СУНЦам, созданным на базе Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургского государственного университета, Новосибирского

национального исследовательского государственного университета, Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.

В рамках НП “Наука” предусмотрена государственная поддержка центров Национальной технологической инициативы на базе университетов и научных организаций. Программы развития центров компетенций НТИ направлены на трансляцию фундаментальных научных результатов и идей через реализацию прикладных исследований в конкретные технологии и продукты в интересах российских технологических компаний, обеспечение устойчивой связи между академической средой и промышленными партнерами посредством совместной деятельности внутри консорциума. В центре внимания — квантовые технологии, искусственный интеллект, технологии Интернета вещей, биосенсоры и биороботы, технологии распределённых реестров и многое другое. Необходимые средства до центров доведены в полном объёме, промышленные партнёры вовлечены в работу этих организаций.

В 2017 и 2018 гг. отобрано 14 центров компетенций НТИ после рассмотрения 119 заявок, центрами запущено около 150 научно-исследовательских проектов. Их доходы (преимущественно от проведения исследований) составили 1.9 млрд руб., по образовательным программам центров подготовлено 3.8 тыс. специалистов.

*Обновление приборной базы.* Одна из основных задач Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года, утверждённой Указом Президента РФ от 13 мая 2017 года № 208, — преодоление критической зависимости от импортных поставок научного, экспериментального, испытательного, производственного оборудования, приборов и микроэлектронных компонентов, программных и аппаратных средств вычислительной техники. Доля импортного оборудования в исследовательских организациях сейчас достигает 70%, со временем оно стареет, а приобретать новое всё труднее, а часто и невозможно. В условиях применения к России санкций особенно остро встаёт вопрос импортозамещения по направлению “Научное приборостроение”. Выход из этой ситуации — поддержка и развитие отечественного научного приборостроения.

Необходимость решения этих проблем определена Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 “О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года”. Совершенствование материально-технической и приборной базы науки стало одним из приоритетов Национального проекта “Наука”. В рамках его реализации предусматри-

ваются существенные инвестиции в обновление приборной базы по следующим направлениям.

*ФП “Развитие научной кооперации”:* создание центров компетенций Национальной технологической инициативы — 10.7 млрд руб.; центров генеральных исследований мирового уровня — 11.19 млрд руб.; научных центров мирового уровня, выполняющих исследования и разработки по приоритетам научно-технологического развития, — 15.46 млрд руб.

*ФП “Развитие передовой инфраструктуры”:* обновление приборной базы — 89.1 млрд руб.; строительство мегасайенс-установок — 94.02 млрд руб.; строительство научно-исследовательских судов — 28.17 млрд руб.; модернизация научно-исследовательских судов — 8.03 млрд руб.; создание селекционно-семеноводческих и селекционно-племенных центров — 3.68 млрд руб.

*ФП “Развитие кадрового потенциала”:* Федеральная научно-техническая программа развития генетических технологий — 17.97 млрд руб.; Федеральная научно-техническая программа развития синхротронных и нейтронных исследований — 12.73 млрд руб.

Ключевой проект, направленный на развитие экспериментальной базы науки, — мероприятие по обновлению приборной базы ведущих организаций, выполняющих исследования и разработки. К ведущим отнесены 284 организации, стоимость приборного парка которых составляет 159.5 млрд руб. В соответствии с паспортом национального проекта “Наука” плановая доля обновления приборной базы ведущих организаций на 2019 г. составляла 2%, в действительности было обновлено 8%, на 2020 г. — 5% (нарастающим итогом), планируется обновить 9%, на 2021 год — 13%, планируется обновить 19%, на 2022 г. — 27%, планируется обновить 30%, на 2023 г. — 40%, планируется обновить 45%, на 2024 г. — 50%, планируется обновить 56%.

Объём финансирования мероприятий по обновлению приборной базы на 2019–2024 гг. составляет 89 096.56 млн руб., в том числе на 2019 г. — 4 351.16, на 2020 г. — 9 843.46, на 2021 г. — 15 827.82, на 2022 г. — 8 517.27, на 2023 г. — 22 542.13, на 2024 г. — 18 014.73 млн руб.

В соответствии с Указом Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204 п. 10 должна быть решена задача обновления не менее 50% приборной базы ведущих организаций, выполняющих научные исследования и разработки. Проект постановления Правительства РФ об утверждении правил предоставления грантов в форме субсидии из федерального бюджета на обновление приборной базы, согласованный с РАН (от 5 апреля 2019 г. № 2-10002-8600/201 и направленный Минобрнауки России в Правительство РФ), включал следующие положения:

- п. 11. Ведущая организация представляет в Минобрнауки России заявку, включающую программу развития, согласованную с РАН;

- п. 20. Непредставление ведущей организацией программы развития, согласованной с РАН, в течение 60 дней... служит основанием для расторжения соглашения.

Однако в принятом Постановлении Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. № 535 оба пункта об экспертизе программ развития организаций Академией наук были исключены без согласования и информирования РАН о причинах такого решения. Положения об экспертизе программ развития организаций Российской академией наук отсутствуют и в Постановлении Правительства РФ от 27 декабря 2019 г. № 1875, что противоречит положениям федерального закона Российской Федерации № 253-ФЗ «О Российской академии наук...» и другим нормативным правовым актам, согласно которым РАН определяется как организация, участвующая в формировании и реализации государственной научно-технической политики, осуществляющая научно-методическое руководство научными организациями и организациями высшего образования, а также экспертное обеспечение деятельности органов государственной власти.

Тем не менее в 2019 г. Российская академия наук приняла самое активное участие в реализации проекта. В соответствии с постановлением Правительства РФ № 312 все организации 1 категории разработали и согласовали с РАН программы развития, включающие мероприятия по реализации пилотного проекта «Обновление приборной базы ведущих организаций, выполняющих научные исследования и разработки, академического сектора науки». В 2019 г. участие в пилотном проекте приняли 139 ведущих организаций, выполняющих научные исследования и разработки, представляющих академический сектор науки. Гранты в форме субсидий были выделены 111 ведущим организациям.

В рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» в 2019–2020 гг. были профинансированы 30 ЦКП и 11 уникальных научных установок на общую сумму 4898 млн руб. (из которых РАН поддержаны 19 грантов на сумму 2587.4 млн руб.). Начиная с 2020 г. в мероприятиях по обновлению приборной базы примут участие также и вузы, и ведущие научные организации, подведомственные другим ФОИВам, — всего 284 организации. Объём бюджетных средств, планируемый к распределению в 2020 г., составляет 9.84 млрд руб. Российская академия наук принимала активное участие в формировании основных подходов к

реализации мероприятия по обновлению приборной базы в 2020–2024 гг.

Задача совершенствования приборной базы решается в рамках национального проекта «Наука», однако, как отмечалось на заседании межведомственной рабочей группы по направлению «Инфраструктура научных исследований и разработок» Совета при Президенте РФ по науке и образованию (16 января 2020 г.), субсидии выделяются только бюджетным автономным учреждениям и иным некоммерческим организациям, представляющим, по сути, академическую и вузовскую науку. А это лишь частичное решение проблемы обеспечения материально-технической базы российской науки. Кроме того, исключение из списка претендентов на обновление оборудования научных организаций второй и третьей категории фактически лишает их возможности развития, влечёт за собой дальнейшее ухудшение ситуации.

В связи с этим необходимо скорректировать подходы к реализации данного проекта с целью расширения перечня его участников, предусмотрев автоматическое выделение средств на обновление материально-технической базы научным организациям 1-й категории и распределение средств на эти цели на конкурсной основе для реализации перспективных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития для организаций 2-й и 3-й категорий.

*Синхротронные и нейтронные исследования.* 25 июля 2019 г. издан Указ Президента РФ «О мерах по развитию синхротронных и нейтронных исследований и инфраструктуры в Российской Федерации», который предусматривает разработку и утверждение Федеральной научно-технической программы развития синхротронных и нейтронных исследований на 2019–2027 гг. Минобрнауки России разработана федеральная программа, которая в настоящее время проходит межведомственное согласование.

Результаты исследований с использованием синхротронных и нейтронных источников необходимы для создания прорывных технологических решений. Основные направления исследований, касающихся решения принципиально новых фундаментальных и крупных прикладных задач, объединены в четыре научных направления реализации Программы:

- синхротронные и нейтронные исследования в области материаловедения для развития наукоемких производственных технологий;

- синхротронные и нейтронные исследования в области живых систем, органических и гибридных материалов;

- синхротронные и нейтронные исследования в области социогуманитарных наук;

- развитие ускорительных и реакторных технологий.

*Установки класса “мегасайенс”.* Формируется сеть уникальных установок класса “мегасайенс”, обладающих не только фундаментальным, но и большим прикладным значением для проведения исследований и разработок.

В завершающей стадии находится создание уникальной научной установки класса “мегасайенс” – Международного центра нейтронных исследований на базе высокопоточного реактора ПИК. Установка, которая включает 25 новых станций, будет введена в строй в 2020 г. (Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”).

К настоящему времени выполнена значительная часть работ по созданию уникальной научной установки класса “мегасайенс” – Комплекс сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжёлых ионов НИКА. Установка будет введена в строй в 2022 г. (Объединённый институт ядерных исследований).

Исполнителем по изготовлению и запуску технологически сложного оборудования для Центра коллективного пользования “СКИФ” (источник синхротронного излучения 4-го поколения) определён Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

В Институте физики высоких энергий имени А.А. Логунова в Протвино будет установлен протонный ускоритель как источник нейтронов испарительно-осколочного типа.

На установках “мегасайенс” возможна реализация мероприятий по исследованиям в области лазерного термоядерного синтеза и лазерных технологий, разработки инновационных плазменных технологий и многим другим.

*Научно-технологическое обеспечение АПК.* Важнейшим блоком национального проекта “Наука” является сельское хозяйство. Создание и обновление передовой научной инфраструктуры сельского хозяйства, включающей селекционно-семеноводческие и селекционно-племенные центры и агробиотехнопарки, будет способствовать импортозамещению и обеспечивать продовольственную безопасность России, позволит снизить стоимость и повысить качество сельскохозяйственной продукции, расширить её экспорт. Разработаны критерии и проведён мониторинг ведущих научных центров, подведомственных Минобрнауки России и Минсельхозу России.

В 2019 г. создано 18 селекционно-семеноводческих центров, центров компетенций в области разработки и внедрения современных агробиотехнологий. В настоящее время подготовлен и находится на согласовании в Правительстве РФ проект постановления о выделении грантов на

поддержку селекционно-семеноводческих центров.

В 2019 г. было создано 100 новых лабораторий в сфере сельскохозяйственных наук с привлечением молодых талантливых специалистов. Важнейшее направление деятельности этих лабораторий – молекулярно-генетические исследования с целью ускорения селекционного процесса по созданию новых конкурентоспособных отечественных сортов и гибридов различных сельскохозяйственных культур.

Минобрнауки России определены потенциальные субъекты Российской Федерации для создания агробиотехнопарков, в том числе Рязанская, Ленинградская и Белгородская области, Пермский и Краснодарский края.

*Лаборатории для молодых учёных.* На 1 января 2020 г. создано 298 новых лабораторий в 177 подведомственных Минобрнауки России организациях, из них 127 лабораторий (42.6%) возглавляют молодые учёные в возрасте до 39 лет. Наибольшее количество лабораторий создано по направлениям: сельскохозяйственные науки (72 лаборатории), биологические науки (52 лаборатории), физические науки (46 лабораторий) и химические науки (30 лабораторий).

*Развитие кооперации.* В 2019 г. в рамках Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 “Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств” осуществляется 75 проектов, на государственную поддержку которых из федерального бюджета предоставлено 4.4 млрд руб. При этом софинансирование со стороны предприятий реального сектора экономики на эти проекты составило 4.5 млрд руб., из которых 1.4 млрд направлены на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (далее – НИОКТР). В проектах принимают участие 1610 молодых учёных, студентов, аспирантов и инженерно-технических работников в возрасте до 39 лет.

Компаниями реального сектора экономики за годы реализации указанного Постановления привлечено 64.14 млрд руб., что превышает плановый показатель на 14.5%. При этом 21.48 млрд руб. (33.5%) из общего объёма собственных средств привлечены на проведение дополнительных НИОКТР. На предприятиях создано 8067 новых рабочих мест, из них 5711 – для молодых специалистов, в том числе в 2019 г. – 363 и 194 соответственно. Опубликована 7091 статья в ведущих научных журналах, из них 1629 – в зарубежных, в том числе в 2019 г. 259 и 90 соответственно. Пода-

но 2219 заявок на получение российских и зарубежных патентов (в 2019 г. — 138). Получено 1468 патентов (в 2019 г. — 77). В реализации Постановления Правительства РФ приняли участие более 15 тыс. студентов, аспирантов, молодых учёных и другие молодые специалисты.

*Инжиниринговые центры.* Проект “Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в РФ” предполагает создание инжиниринговых центров на базе университетов. Центры оказывают инжиниринговые услуги и занимаются продвижением инновационных научно-исследовательских разработок. Сеть таких центров имеет широкий региональный охват и действует во всех федеральных округах. Их создание позволило увеличить эффективность научной и образовательной деятельности, расширить спектр фундаментальных и прикладных исследований, сформировать высокоэффективную систему подготовки квалифицированных кадров в области инжиниринга, а также обеспечить коммерциализацию и вывод на рынок результатов исследований и разработок.

В 2019 г. выручка инжиниринговых центров превысила 1,9 млрд руб. С помощью центров создано 2414 рабочих мест, в том числе около 1800 для специалистов инженерно-технического профиля (более 74% от штатной численности).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ежегодном послании Президента Российской Федерации (март 2018 г.) научно-технологическое развитие, в том числе ликвидация отставания от стран — технологических лидеров, определено как один из главных стратегических приоритетов государства. Тем не менее, несмотря на появление НП “Наука” в числе 13 национальных проектов развития страны на период до 2024 г., в России не сформулирована целостная научно-технологическая политика, учитывающая интересы государства, общества и бизнеса, ориентированная на решение стратегических задач.

Анализ состояния российской науки показывает, что проводимые с начала века реформы научной, научно-образовательной и научно-технологической сферы не обеспечили превращения науки в ведущую производительную силу. За период реформ не удалось достичь требуемых показателей ни по одному стратегическому направлению, определяющему развитие науки и технологий, не создана национальная инновационная система.

По доле науки в структуре ВВП Россия существенно уступает странам-лидерам. Если в развитых государствах эта доля составляет 2% и более, то в России с начала века данный показатель находится на уровне 1–1,1% и не демонстрирует

тенденции к росту. Финансирование фундаментальных исследований, измеряемое в процентах к ВВП, медленно увеличивается, однако достигнутый уровень (0,17%) существенно ниже, чем в технологически развитых странах (0,4%).

Сложившаяся ситуация отражает реализуемую экономическую политику, по-прежнему ориентированную в первую очередь на использование природных ресурсов, в рамках которой потребности в фундаментальной науке и опережающем развитии высокотехнологического сектора ограничены.

Практика управления научными исследованиями не носит чёткого системного характера и распределена между десятками различных государственных структур, что, в частности, приводит к нерациональному использованию ресурсов, направляемых на развитие науки и научно-технологического комплекса страны. Для преодоления этой ситуации предпринимается попытка консолидации бюджетных средств, выделяемых на поддержку гражданской науки, в рамках единой государственной программы “Научно-технологическое развитие Российской Федерации”, вводится единая система оценки результативности научной деятельности организаций независимо от их ведомственной принадлежности.

Особую озабоченность вызывает отсутствие роста вложений в науку со стороны реального сектора экономики — показателя, отражающего научно-инновационную активность в современном обществе. В стране создано несколько независимых друг от друга научно-инновационных экосистем, регулируемых отдельными законами. При этом отсутствует единое государственное управление процессом превращения знаний в технологии, которое на основе ясных принципов и правил стимулировало бы научные учреждения доводить полученные результаты до практического внедрения, а компании — инвестировать средства в отечественные разработки. В течение трёх лет с момента принятия Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в декабре 2016 г. не было начато финансирование ни одного проекта по реализации комплексных научно-технических программ по приоритетным направлениям, хотя советы по приоритетам подготовили несколько десятков проектов и программ полного инновационного цикла.

Требуется значительного внимания система подготовки и аттестации научных кадров высшей квалификации. По доле научных сотрудников в полной численности занятого населения (около 0,5%) Российская Федерация заметно отстаёт от стран — научно-технологических лидеров и нуждается в значительном притоке молодых квалифицированных кадров в науку. Принятый в 2019 г.

в ответ на многолетние запросы научного сообщества закон о возвращении “научной” аспирантуры должен помочь восстановить прежнюю значимость защиты кандидатских диссертаций как итога обучения и престиж самого института аспирантуры. Время диктует также возобновление успешной программы интеграции деятельности учреждений науки и высшей школы, действовавшей на рубеже веков. Вызывают озабоченность непрекращающиеся попытки девальвации системы государственной аттестации научных кадров путём увеличения числа организаций с правом самостоятельного присуждения учёных степеней.

За время, прошедшее после реформы РАН в 2013 г., роль и значимость Российской академии наук в научной, научно-технической и социально-экономической жизни страны снизились. Это связано не только с отстранением РАН от управления академическими научными организациями, но и с наделением её правовым статусом обычного федерального государственного бюджетного учреждения. Данный статус не позволяет Академии наук эффективно участвовать в формировании и реализации государственной научно-технической политики. В настоящее время значительная часть деятельности РАН сводится к ежегодной экспертизе десятков тысяч тематических планов, отчётов, программ развития нескольких сотен научных и образовательных организаций страны, подведомственных десяткам ФОИВов. В то же время экспертиза академией масштабных государственных программ и проектов, стратегий развития наукоёмких отраслей промышленности законодательно не предусмотрена. Статус ФГБУ также препятствует РАН выходить на правительственный уровень с крупными инициативными проектами.

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ, регулирующим деятельность РАН, в основных видах её деятельности не предусмотрено проведение научных исследований. Вследствие этого, как это ни парадоксально, РАН де-юре не является научной организацией, не получает госзадания на проведение исследований, а в составе её отделений нет ни одного научного сотрудника. При этом прямые поручения Президента РФ о наделении Российской академии наук правом вести научные исследования, о её участии в формировании государственной научно-технической политики и в научном обеспечении системы стратегического планирования не выполняются.

В целом можно заключить, что в последние годы интеллектуальный потенциал РАН оказывается существенно недоиспользуемым. Это отрицательно сказывается как на научно-техническом развитии страны, так и на состоянии самой Академии наук, в которой настроения невостремленности в этот самый сложный период становятся всё более осязаемыми.

ванности в этот самый сложный период становятся всё более осязаемыми.

Исходя из изложенного с целью преодоления негативных тенденций развития науки и научно-технологического комплекса страны, превращения науки в реальное конкурентное преимущество России необходимо в кратчайшие сроки предпринять следующие меры.

1. Предложить Госсовету РФ, Совету безопасности РФ совместно с РАН разработать и представить на рассмотрение Президенту РФ проект “Основы государственной политики развития науки и технологий и формирования национальной инновационной системы на период до 2035 года и дальнейшую перспективу”, в котором сформулировать целостную политику научно-технологического развития страны. При этом наука должна быть определена как ведущая производительная сила, а Российская академия наук — как высшая научная и экспертная организация Российской Федерации.

Особое внимание должно быть обращено на восстановление целостности научно-технологического и научно-образовательного пространства, системности организации фундаментальных научных исследований как единственного источника знаний для выработки важнейших стратегических решений, обеспечения конкурентоспособности страны, её полноправного вхождения в число глобальных лидеров.

2. Определить Указом Президента РФ “Основы государственной политики развития науки и технологий и формирования национальной инновационной системы на период до 2035 года и дальнейшую перспективу” в качестве базового документа для разработки и принятия Федерального закона “О государственной научной и научно-технической политике”.

3. Внести изменения в Федеральный закон РФ от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук...”, предусмотрев наделение РАН организационно-правовым статусом “Государственная академия” с внесением соответствующих изменений в Гражданский кодекс РФ.

4. Наделить РАН правом законодательной инициативы (разработка и внесение в Правительство РФ проектов законов и иных правовых актов), а также полномочиями надведомственного экспертного органа.

5. Разрешить РАН, наделённой организационно-правовым статусом “Государственная академия”, выступать от имени Правительства РФ вместе с заинтересованными органами государственной власти и госкорпорациями в качестве соучредителя научных организаций.

6. Законодательно определить следующие основные виды деятельности РАН: проведение научных исследований, координация работ по вос-

становлению научного задела в области обороны и национальной безопасности, научное обеспечение стратегического планирования и прогнозирования научно-технологического и социально-экономического развития.

7. В целях совершенствования государственного управления развитием науки и технологий создать в структуре государственной исполнительной власти под руководством заместителя председателя Правительства РФ надведомственный орган, отвечающий за реализацию единой государственной политики развития науки и технологий и формирование национальной инновационной системы, обеспечивающий разработку и реализацию стратегических государственных научно-технических программ, подготовку и аттестацию научных кадров высшей квалификации, а также ведение реестра финансирования научных исследований.

8. С целью улучшения контроля использования бюджетных средств, направляемых на развитие научно-технологического комплекса страны, внести изменения в Бюджетный кодекс, предусмотрев специальный раздел бюджетной классификации “Фундаментальные научные исследования, научно-технологическое развитие, формирование национальной инновационной системы”.

9. Разработать механизмы стимулирования бизнеса к участию в развитии отечественных тех-

нологий, их внедрению в реальный сектор экономики и формированию новых рынков высокотехнологичной продукции на базе отечественных технологий и наукоёмкой промышленности.

10. Определить долю российской наукоёмкой продукции на глобальном рынке как главный показатель научно-технологического развития страны.

11. Сформировать в научных организациях систему менеджмента, которая бы эффективно выстраивала внутренние и внешние взаимодействия исследовательских подразделений институтов, содействовала привлечению внебюджетных источников финансирования, способствовала установлению партнёрских отношений с организациями высшей школы и бизнеса. Пропагандировать лучший мировой и отечественный опыт организации крупных комплексных научных и инновационных проектов.

12. Пересмотреть подходы к оценке деятельности научных организаций, в том числе отказаться от библиометрических данных как главного показателя эффективности и результативности научных коллективов и отдельных учёных, разработать показатели оценки научных организаций с учётом влияния результатов НИР и ОКР на рост ВВП России.

## О ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ РОССИЙСКИМИ УЧЁНЫМИ В 2019 ГОДУ

### МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Специалисты Научно-исследовательского института системных исследований РАН (Москва) внесли вклад в решение классической проблемы периодичности непрерывных дробей элементов гиперэллиптических полей, поставленной в XIX в. в работах Н.Х. Абеля и П.Л. Чебышёва. В частности, в 2019 г. проблему удалось полностью решить для эллиптических полей с полем рациональных чисел в качестве поля констант. Удивительный результат получен для квадратных расширений, определяемых кубическими многочленами  $G(x) = \sqrt{ax^3 + bx^2 + cx + d}$ : существует только три кубических многочлена, квадратный корень из которых разлагается в периодическую непрерывную дробь (рис. 12).

Учёные Федерального исследовательского центра “Информатика и управление” РАН (Москва) с помощью техники интеграла типа Меллина–Барнса со специальным выбором контура интегрирования решили поставленную в XIX в. проблему аналитического продолжения гипергеометрических функций произвольного числа переменных. Созданная ими теория анали-

тического продолжения гипергеометрических функций находит многочисленные приложения, в том числе в моделировании магнитного пересоединения в солнечных вспышках и вычислении ёмкостей сложных конденсаторов.

Специалисты Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики” (Москва) решили поставленную в XIX в. задачу Дарбу об описании всех поверхностей в трёхмерном вещественном пространстве, которые обладают следующим свойством: через каждую точку поверхности можно провести по две окружности, целиком лежащие в этой поверхности. Получена полная классификация поверхностей с указанным свойством. Доказано, что если поверхность содержит семейство пар окружностей, проходящих через каждую точку поверхности и аналитически от неё зависящих, то её можно естественными преобразованиями отождествить с одной из трёх классических поверхностей – Евклида, Клиффорда или Дарбу (рис. 13). Найденное решение имеет важное значение в архитектуре.

В Институте системного программирования им. В.П. Иванникова РАН (Москва) решили фундаментальную проблему восстановления ал-

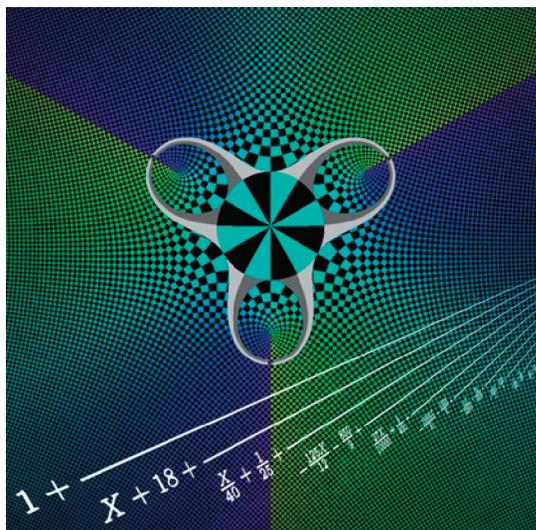


Рис. 12. Эллиптическая кривая и ассоциированная с ней функциональная непрерывная дробь

горитмов из бинарного кода с возможностью их последующей верификации. Её актуальность обусловлена экспоненциальным ростом сложности современного программного обеспечения (ПО), продиктованным увеличением объёма кода, а также распространением технологий его защиты от обратной инженерии.

Разработано специализированное промежуточное представление, позволяющее единообразно анализировать бинарный код различных процессорных архитектур, применяемых в настольных компьютерах и серверах, мобильных устройствах, коммуникационном оборудовании. Созданы графовые модели, алгоритмы и методы работы, которые могут качественно автоматизировать обратную инженерию бинарного кода по наборам трасс для всех слоёв ПО, развёрнутого в исследуемой вычислительной системе. Полученные результаты, не имеющие отечественных аналогов, реализованы в виде комплекса программных средств – среды анализа бинарного кода ТРАЛ, внедрённой в государственных и коммерческих учреждениях, занимающихся сертификацией и разработкой безопасного ПО.

В Институте проблем проектирования в микроэлектронике РАН (Москва) предложили маршрут проектирования полузаказных схем на базе реконфигурируемых систем на кристалле (РСнК), состоящий из комплекса новых методов и алгоритмов повышенной эффективности (рис. 14). В нём заложены инновационные подходы к решению топологических задач на этапах декомпозиции, размещения логических элементов и трассировки межсоединений, что даёт возможность быстрой адаптации к изменениям архитектуры РСнК. Эти подходы позволяют ускорить синтез крупных сложно-функциональных

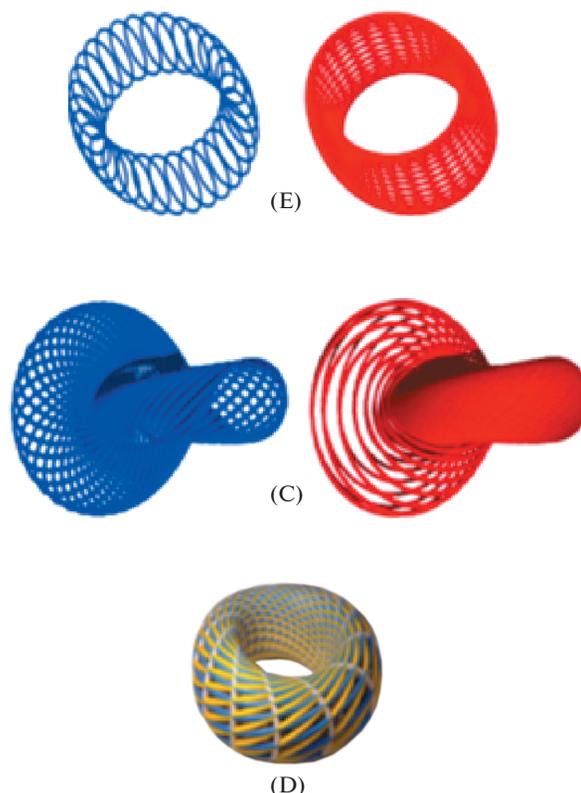


Рис. 13. Евклидовы (E) и клиффордовы (C) трансляционные поверхности и циклида Дарбу (D)

блоков в базе программируемой логики в условиях совмещения на одном кристалле разнообразных схмотехнических решений, а также синтез элементов систем на кристалле. Разработка учёных на 10–15% повышает эффективность использования топологических ресурсов РСнК целевого назначения.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

13 июля 2019 г. состоялся успешный запуск с космодрома Байконур разработанной в НПО им. С.А. Лавочкина астрофизической обсерватории “Спектр-РГ”, которая предназначена для построения полной карты Вселенной в рентгеновском диапазоне энергий 0.3–30 кэВ. В состав обсерватории входят два рентгеновских телескопа: eROSITA, созданный Институтом внеземной физики общества им. Макса Планка (Германия), и ART-XC, разработанный Институтом космических исследований РАН в кооперации с Всероссийским научно-исследовательским институтом экспериментальной физики в Сарове (Россия). ART-XC – первый рентгеновский телескоп космического падения, в фокальной плоскости которого установлены уникальные рентгеновские детек-

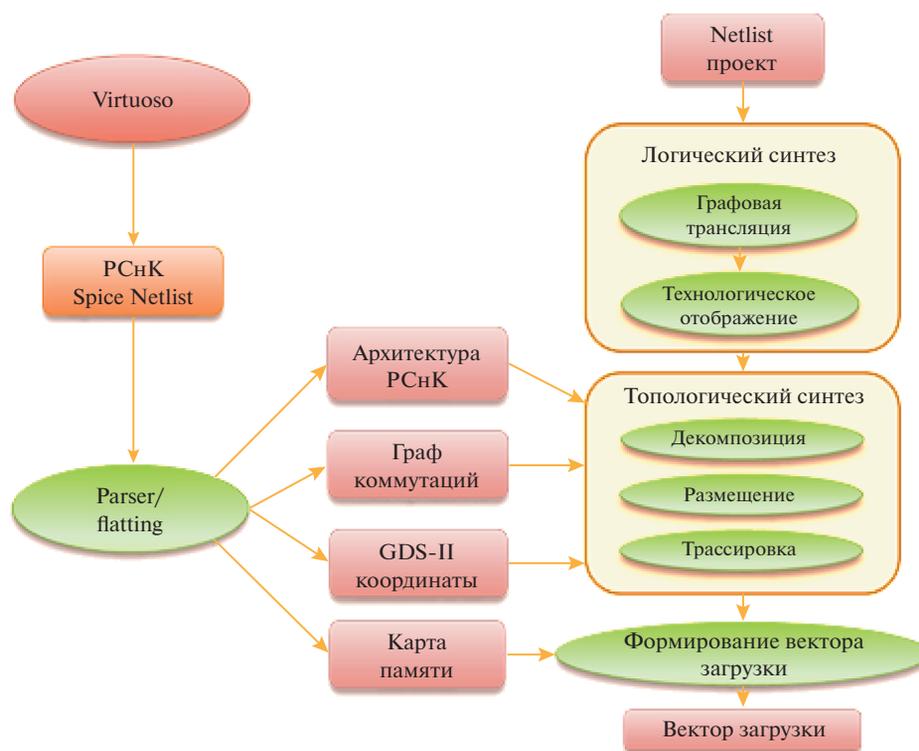


Рис. 14. Блок-схема маршрута проектирования схем на базе РСнК



Рис. 15. Рентгеновское изображение фрагмента близкой галактики Большое Магелланово Облако, полученное телескопом eROSITA. Отмечены расположенные в этой галактике объекты разной природы и две далёкие галактики с активными ядрами, оказавшиеся в этом же поле

торы на основе теллурида кадмия. Сегодня “Спектр-РГ” — одна из лучших рентгеновских обсерваторий, способная сделать полный обзор неба с рекордной чувствительностью, в десятки раз превосходящей возможности других аналогичных аппаратов.

21 октября 2019 г. “Спектр-РГ” завершил перелёт в окрестность точки либрации L2 системы Солнце–Земля и приступил к выполнению главной задачи — проведению четырёхлетнего обзора неба в рентгеновских лучах (рис. 15). Тестовые наблюдения подтвердили заявленные характери-

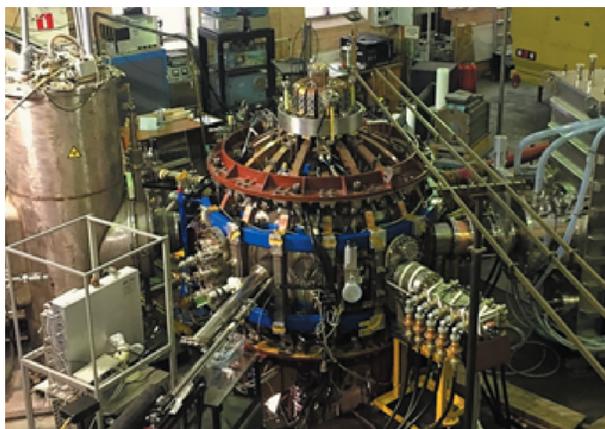


Рис. 16. Внешний вид токамака “Глобус-М2”

стики приборов. Ожидается, что аппарат сможет обнаружить около 100 тыс. массивных скоплений галактик, несколько миллионов сверхмассивных чёрных дыр, сотни тысяч звёзд с активными коронами, а также детально исследовать свойства горячей межзвёздной и межгалактической плазмы. В результате полугодовых наблюдений получена полная карта звёздного неба в рентгеновских лучах.

В Крымской астрофизической обсерватории РАН (Симеиз) с помощью 22-метрового радиотелескопа РТ-22 в линиях водяного пара на частоте 22 235 МГц открыт мощный галактический киломазер G25.65+1.05. Сотрудники обсерватории зарегистрировали самую мощную за всю историю наблюдений двойную вспышку, во время которой плотность потока радиоизлучения увеличилась более чем в 1300 раз. В ходе изучения объекта впервые в мире удалось получить детальную форму изменения спектральной плотности потока излучения источника в зависимости от времени. Радиоастрономы провели наблюдения вспышки киломазера с использованием радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (Квазар-КВО и станция Симеиз), которые подтвердили наличие компактных глобул в пространственной структуре источника.

Учёные разработали модель первичного энерговыделения на основе кратной массивной звёздной системы, в которой в результате мощного гравитационного возмущения происходит сброс оболочки центральной сверхмассивной звезды.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург) ввёл в эксплуатацию сферический токамак “Глобус-М2” с увеличенным магнитным полем (рис. 16). При росте магнитного поля с 0.4 до 0.7 Тл и тока плазмы с 0.2 до 0.33 МА, неизменном значении мощности дополнительного нагрева и запаса устойчивости зарегистрировано существенное (до 3 раз) по-

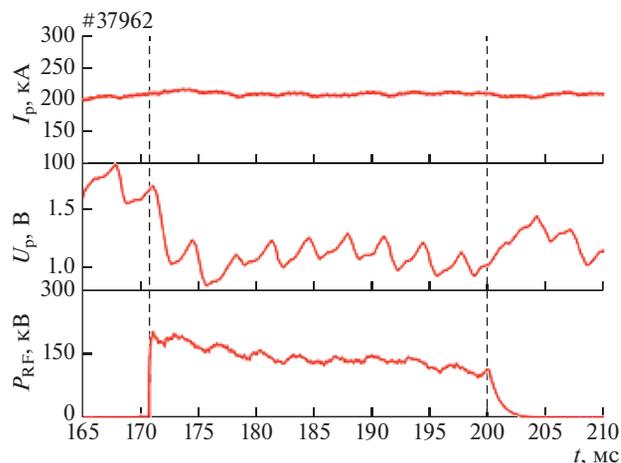


Рис. 17. Эффект замещения индукционного тока током увлечения, наблюдаемый по характерному снижению напряжения на обходе плазменного шнура  $U_p$  при неизменном полном токе плазмы  $I_p$

вышение температуры и энергозапаса плазмы. Зафиксировано двукратное увеличение времени удержания энергии плазмы. Впервые на сферическом токамаке удалось заместить часть индукционного тока разряда током, увлекаемым ВЧ-волнами промежуточного диапазона частот (2.45 ГГц), замедленными в тороидальном направлении (рис. 17).

Благодаря тесной кооперации специалистов Института физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН, Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и Федерального научно-исследовательского центра “Кристаллография и фотоника” РАН (Москва) впервые осуществлён массовый синтез наноалмазов контролируемого размера методом высокого давления при высоких температурах (НРНТ), что открывает новые перспективы в создании однородных по свойствам носителей центров окраски. Синтез выполнен из галогенированных адамантанов, алмазоподобная структура которых и способность галогенов насыщать углеродные связи определяет преимущественный “алмазный” сценарий их карбонизации при давлении 8 ГПа и температурах выше 900 К (рис. 18). Массовое зарождение алмазов и их относительно медленный рост в продуктах карбонизации при температурах до 2000 К обеспечивают благоприятные условия для размерно-контролируемого синтеза наноалмазов от 1–2 до сотен нанометров путём изменения температуры синтеза.

В Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН (Владивосток) предложен и реализован высокопроизводительный метод фемтосекундной лазерной печати фотонных элементов в плёнках органо-неорганических перовскитов ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ), не разрушающий, в отличие от

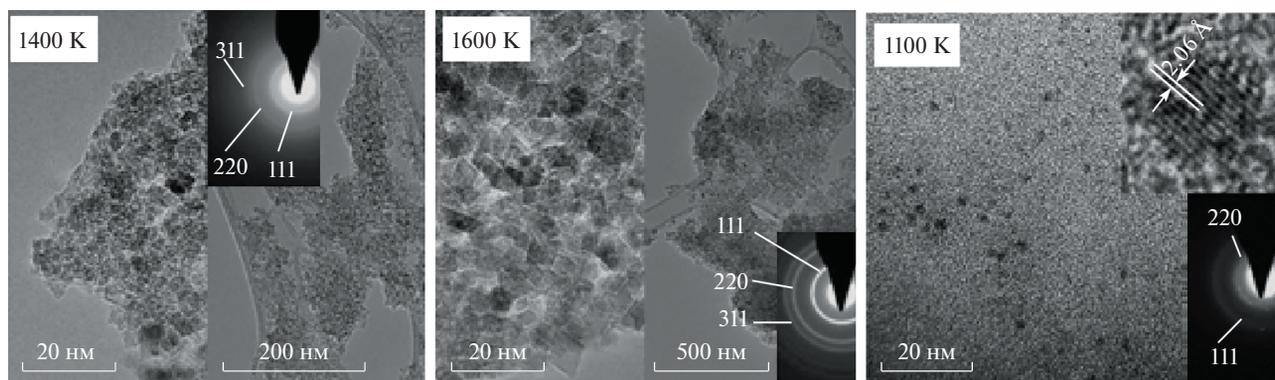


Рис. 18. Синтез наноалмазов из бромированного адамантана  $C_{10}H_{14}Br$  при 8 ГПа; время синтеза 120 с

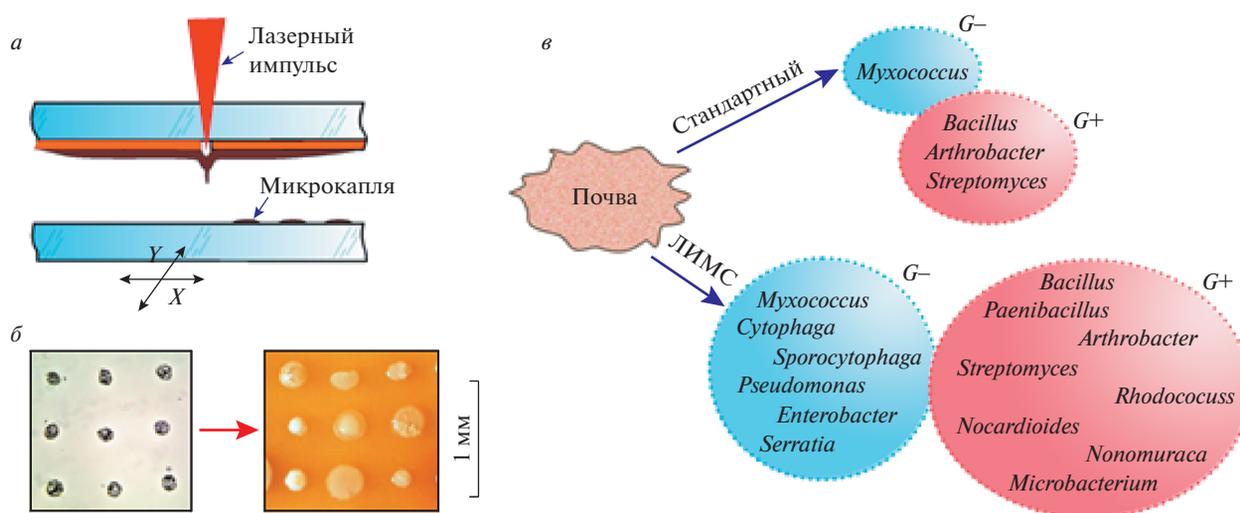


Рис. 19. Схема печати микрокаплями с живыми микробиологическими организмами (а); микрокапли и образованные колонии микроорганизмов (б); пример совокупности микроорганизмов различных видов, выделенных из образца почвы стандартным и разработанным способами (в)

методов литографии, их оптических свойств и использующий жидкостное или ионное травление. Метод позволяет изготавливать одномодовые микродисковые лазеры с минимальным размером 2 мкм и порогом лазерной генерации  $\sim 150$  мкДж/см<sup>2</sup> при наносекундной оптической накачке.

Учёные Института фотонных технологий Федерального научно-исследовательского центра “Кристаллография и фотоника” РАН (Москва) разработали оригинальную технологию лазерной инженерии микробиологических систем (ЛИМС) и программно-аппаратные комплексы для выделения и пространственного переноса отдельных бактерий, клеток и их агрегатов с помощью импульсов давления, создаваемых наносекундным лазерным излучением. ЛИМС позволяет реализовать высокоэффективную трёхмерную печать живыми микробиологическими

объектами, выделять бактерии, трудно культивируемые или некультивируемые стандартными способами (рис. 19). Технология востребована для выделения биологически активных веществ и редких микроорганизмов, синтеза новых антибиотиков, создания тканеинженерных конструкций под задачи регенеративной медицины.

В Институте физики высоких энергий им. А.А. Логунова НИЦ “Курчатовский институт” (Протвино, Московская обл.), где в 2008 г. введена в эксплуатацию новая экспериментальная установка ОКА, детально исследован с использованием вторичного пучка каонов протонного синхротрона У-70 распад заряженного каона на мюон, мюонное нейтрино и квант гамма-излучения  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \gamma$  (канал лептонного распада). Работа выполнена в кооперации с коллегами из Института ядерных исследований РАН (Москва). Наблюдалось 95 тыс. событий с энергией  $\gamma$ -кван-



**Рис. 20.** Стенд “Испаритель”, предназначенный для отработки испарения и ионизации конденсированного вещества, моделирующего реальное отработавшее ядерное топливо

та  $25 \text{ МэВ} < E^* \gamma < 150 \text{ МэВ}$  в системе покоя каона. Изучение плотности распределения событий распада позволило обнаружить деструктивную интерференцию доминирующего тормозного и структурного излучения. Измерена разница векторной и аксиальной констант распада:  $F_V - F_A = 0.134 \pm 0.021 \pm 0.027$ . Это значение отличается от предсказаний киральной теории возмущений  $F_V - F_A = 0.052$  (различие  $2.3\sigma$ ), что может указывать на необходимость модификации теории.

На базе Технологического института Карлсруэ (Германия) в рамках международной коллаборации при активном участии сотрудников Института ядерных исследований (ИЯР) РАН (Москва) завершено создание установки КАТРИН. В её основе лежит идея электростатического спектрометра с адиабатической магнитной коллимацией, предложенная российскими учёными В.М. Лобашёвым и П.Е. Спиваком и воплощённая ранее на установке “Троицк ню-масс” в лаборатории мезонной физики ИЯИ РАН. На ней было получено ограничение на эффективную массу электронного антинейтрино на уровне  $2.05 \text{ эВ}$ , которое до последнего времени считалось лучшим в мире.

КАТРИН, выполненная на новом технологическом уровне, позволила поднять интенсивность источника примерно в 170 раз. Анализ состоявшегося в 2019 г. первого четырёхнедельного цикла измерений привёл к ограничению на эффективную массу электронного антинейтрино  $m_\nu < 1 \text{ эВ}$ , что по точности вдвое превосходит предыдущие лабораторные результаты, полученные за несколько лет.

В Объединённом институте высоких температур РАН (Москва) введён в эксплуатацию стенд “Испаритель” (рис. 20), предназначенный для отработки испарения и ионизации конденсированного вещества, моделирующего реальное отрабо-

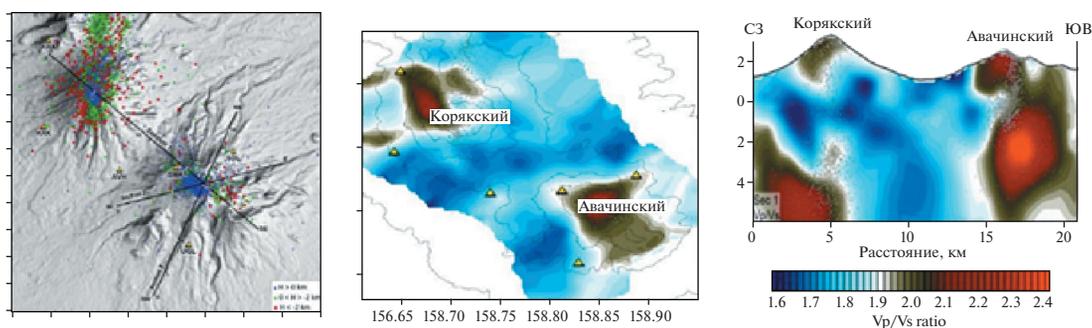
тавшее ядерное топливо (ОЯТ). Расчётная производительность — до  $1 \text{ кг/ч}$ , что достаточно для обеспечения переработки ОЯТ, производимого всеми мощностями атомной энергетики России. Разрабатываемая технология плазменной переработки ОЯТ как альтернатива уже существующим основана на пространственном разделении потоков однозарядных ионов в электрических и магнитных полях, благодаря которым в замагниченной буферной плазме с заданным пространственным распределением электрического потенциала осуществляется разделение тяжёлых и лёгких компонентов ОЯТ.

В Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва) создана система адаптации графического пакета данных (САГП) для использования цифровой конструкторской документации, полученной в современных САД-системах, и реализации автоматизированных средств сопровождения жизненного цикла изделия в разнообразных прикладных задачах. САГП позволяет в интерактивном режиме управлять процессом преобразования трёхмерной модели космического аппарата из стандартного внешнего формата САД в формат, пригодный для динамической визуализации реалистичных сцен космического корабля. Система внедрена в процесс эксплуатации Международной космической станции для разработки учебно-тренировочных средств. При этом трудозатраты на создание трёхмерной модели транспортного космического корабля снижаются на 60%.

#### ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ И НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ

В Институте химии твёрдого тела УрО РАН (Екатеринбург) синтезировано высокоэффективное семейство люминофоров на основе литиевых гранатов  $\text{Li}_{5+x}\text{A}_x\text{LA}_{3-x}\text{M}_2\text{O}_{12}:\text{LN}$ . Введение диспрозия вызывает люминесценцию с близкими к белому цвету цветовыми координатами. Это позволяет создавать осветительные приборы дневного света с тёплым свечением, которое благоприятно воспринимается глазом человека.

Сотрудники Международного томографического центра СО РАН (Новосибирск) продемонстрировали высокочувствительный молекулярный МРТ на основе регистрации сигнала ядерно-магнитного резонанса ядер  $^{15}\text{N}$  биомолекул с естественным содержанием изотопа  $^{15}\text{N}$  (0.36%). Усиление сигнала ЯМР на ядре  $^{15}\text{N}$  достигается за счёт контакта параводорода и N-гетероцикла на комплексе иридия в растворе. Полученные результаты открывают новые перспективы для развития методов ранней диагностики различных заболеваний и оперативного контроля их лечения



**Рис. 21.** Значения отношения  $V_p/V_s$  на глубине 4 км ниже уровня моря и на вертикальном сечении вкост вулканов Авачинский и Корякский. Высокие значения  $V_p/V_s \sim 2.3$  маркируют зоны с повышенным содержанием жидкой фазы (расплавов, флюидов) и могут свидетельствовать о наличии магматических камер

на основе детального исследования процессов метаболизма *in vivo*.

Специалистами Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (Москва), Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) и ООО «ХЕМА» (Москва) создан превосходящий лучшие зарубежные аналоги сэндвичевый диагностикум «GalMAg-ИФА» для обнаружения галактоманнанового маркера (ГМ) опаснейшего грибкового заболевания – инвазивного аспергиллёза. Учёные впервые провели синтез функционализированных олигосахаридов, по структуре родственных иммуно-детерминантным фрагментам ГМ. Получено гомологичное моноклональное антитело, используемое в диагностикуме вместе с синтетическим углеводным компонентом. На базе ООО «ХЕМА» организовано производство «GalMAg-ИФА», в котором нуждаются ведущие специализированные лечебные организации страны.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к новым синтетическим полимерам, обладающим рядом уникальных свойств. К ним, в частности, относятся сверхвысокомолекулярные полнолефины, которые являются эффективными противотурбулентными присадками. Их применение позволяет существенно понизить турбулентность в потоке перекачиваемой нефти, уменьшить гидравлическое сопротивление, сократить энергозатраты и увеличить пропускную способность трубопровода на 20–25%, а также повысить срок эксплуатации оборудования. В России создана технология получения сверхвысокомолекулярных полнолефинов методом суспензионной полимеризации с использованием разработанных в Институте нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (Москва) наноразмерных титан-магниевого катализаторов.

В сентябре 2019 г. на территории особой экономической зоны «Алабуга» компания «Транснефть» открыла первый в России завод по произ-

водству сверхвысокомолекулярного полигексена мощностью до 10 тыс. т в год. В проекте участвовали Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского (Екатеринбург), НИИ «Транснефть» и ООО «Ника-Петротек».

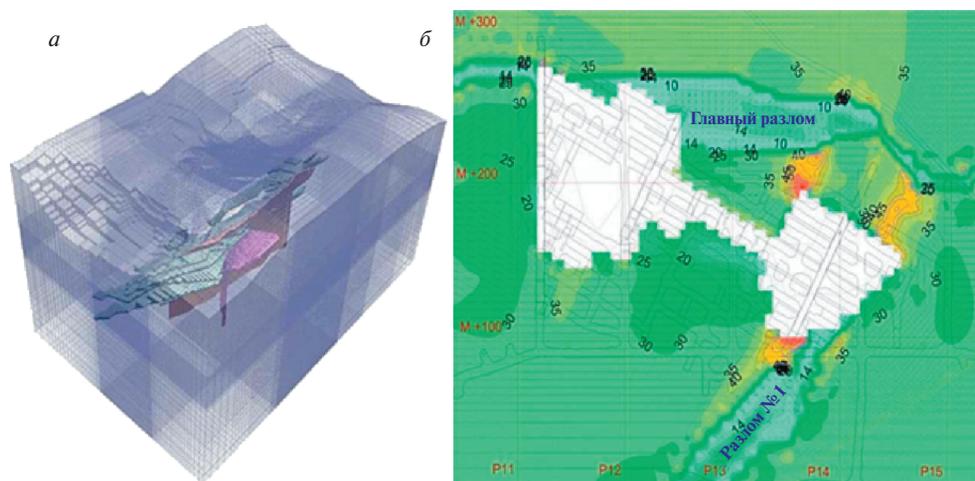
В Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (Новосибирск) разработали технологию сжигания твёрдых, жидких, газообразных видов топлив в кипящем слое катализатора глубокого окисления, которая принципиально отличается от горения в традиционном понимании – органические вещества окисляются на поверхности твёрдых катализаторов без образования пламени.

Преимущества технологии:

- снижение температуры горения органического топлива до 700°C;
- повышение коэффициента полезного использования теплоты топлива до 90% и выше;
- проведение процесса в автотермическом режиме;
- экологическая безопасность процесса;
- отсутствие значительного избытка воздуха;
- уменьшение размеров и металлоёмкости конструкций;
- возможность использования в качестве топлива твёрдого, жидкого и газообразного сырья, в том числе с низкой калорийностью и высокой зольностью (отходы углеобогащения, нефтепереработки, деревопереработки и сельского хозяйства, торф).

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Результатом многолетних трудов стала созданная в 2019 г. сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург) Карта четвертичных образований территории Россий-



**Рис. 22.** 3D-вид разработанной численной модели месторождения апатит-нефелиновых руд Олений Ручей в Хибинах (а); распределение напряжений  $\sigma_{max}$  на горизонте +120 м при фактическом состоянии горных работ на октябрь 2019 г. (б)

ской Федерации, её континентального шельфа и прилегающих глубоководных акваторий масштаба 1:2 500 000. Она составлена на основе детализированной Общей стратиграфической шкалы квартера, в которой ступени всех звеньев неоплейстоцена скоррелированы со стадиями кислородно-изотопной шкалы, и квалифицируется как новейшая научная сводка данных по строению четвертичного покрова России. В 2019 г. карту представили на конгрессе Международного союза по изучению четвертичного периода (International Union for Quaternary Research – INQUA) в Дублине (Ирландия), где она получила высокую оценку участников форума и стала достойным вкладом ВСЕГЕИ в уникальную традицию обзорного картографирования в России.

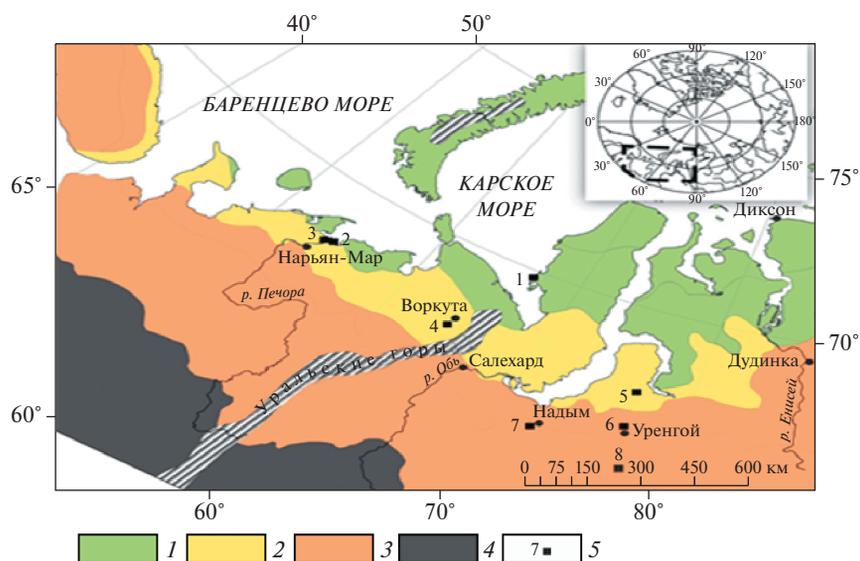
Сотрудники Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск) и Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский), исследуя методами трёхмерной сейсмической томографии структуру земной коры под Авачинской группой вулканов (Камчатка), обнаружили под Авачинским и Корякским вулканами на глубинах 2 и 7 км соответственно магматические камеры (рис. 21). Учёным удалось определить не только, где находятся магматические очаги, но и как они выглядят. Эта информация важна для получения достоверной картины строения земных недр.

Учёные Кольского научного центра РАН провели серию работ, направленных на исследование свойств массива горных пород удароопасного месторождения апатит-нефелиновых руд Олений Ручей в Хибинах. Одним из объектов изучения стала зона ведения подземных горных работ. Для прогнозной оценки напряжённо-деформированного состояния массива в этой зоне использовал-

ся программный комплекс Sigma GT, разработанный в Горном институте КНЦ РАН (Апатиты, Мурманская обл.), который укомплектован пользовательским интерфейсом для создания глобальных и локальных трёхмерных моделей и расчётным модулем напряжённо-деформированного состояния моделей (рис. 22). В основе расчётного модуля комплекса лежит численный метод решения задач теории упругости для неоднородных сред – метод конечных элементов. Он позволяет осуществить постановку серии последовательных расчётов объёмного напряжённо-деформированного состояния массива горных пород. Разработанная учёными система прогнозной оценки состояния пород широко применяется Акционерным обществом «Северо-Западная Фосфорная Компания» (Мурманская обл.), которое осуществляет строительство и эксплуатацию горно-обогачительного комбината на месторождении апатит-нефелиновых руд Олений Ручей.

Сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва) реконструировали циркуляцию атмосферы над Северной Атлантикой за последние 40 лет и создали уникальную трёхмерную модель динамики атмосферы над Северной Атлантикой Russian Academy of Sciences North Atlantic Atmospheric Downscaling (RAS-NAAD). Для построения модели использовалась база данных атмосферных реанализов – объединённых наблюдений за атмосферой, собранных со спутников, самолётов, наземных и водных метеостанций всего мира. Реконструкция охватывает область над океаном от 10° до 80° с.ш.

Модель имеет пространственное разрешение 14 км и позволяет реалистично воспроизводить мезомасштабную динамику атмосферы и такие



**Рис. 23.** Оценочная карта-схема состояния мерзлоты в западном секторе Российской Арктики  
Зелёным цветом выделены регионы, в которых изменения мерзлоты не приводят к качественным изменениям; жёлтым отмечены регионы с начинающейся деградацией мерзлоты и снижающейся несущей способностью оснований и фундаментов; оранжевым выделены регионы, в которых происходит активная деградация мерзлоты и опускание её кровли, поэтому крупные города находятся в зоне риска, возможны недопустимые деформации и разрушения сооружений; серый цвет — области вне криолитозоны

опасные атмосферные явления, как грозы и тайфуны. Полный архив RAS-NAAD, занимающий 150 ТБ, находится в открытом доступе в виде отдельных годовых файлов. Благодаря этим данным можно анализировать около 200 параметров поверхности и свободной атмосферы — давление, температуру, влажность воздуха, электрические и другие показатели каждые 3 ч за период с 1979 по 2018 г.

Исследователи Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН (Владивосток) впервые установили значительное влияние распада ледников Северной Америки и Камчатского полуострова на гидрологию поверхностных вод северной части Тихого океана и климат прилегающего континента во время терминации последнего оледенения. Данные изотопного состава кислорода планктонных фораминифер, скорректированные на изменения  $\delta^{18}\text{O}$  вод Мирового океана, показывают существенное влияние распада Кордильерского ледникового щита и ледников Камчатского полуострова на среду и гидрологические условия поверхностных вод северо-восточной части и Прикамчатского района Тихого океана вследствие пульсаций притока талых ледниковых вод за последние 20 тыс. лет.

В Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород) провели эмпирическое моделирование климата прошлого и предложили новый подход к изучению причины климатического перехода среднего плейстоцена (около 1 млн лет назад), когда регулярные колебания с

периодом 41 тыс. лет сменились высокоамплитудными 100-тысячелетними пилообразными колебаниями глобального климата. Извлечённые из донных отложений четвертичного периода данные позволили построить динамическую модель этого явления. Установлено, что переход среднего плейстоцена не связан с вариациями орбитальных параметров Земли и 100-тысячелетние ледниковые циклы возникли в этом периоде благодаря изменению собственной динамики климатической системы планеты.

На основе многолетнего мониторинга криолитозоны в северных регионах Европейской части России и Западной Сибири впервые с высокой степенью достоверности установлено, что деградация мерзлоты вследствие климатических изменений приобретает в южных тундровых и лесотундровых ландшафтах массовый характер. Анализ изменения температуры криолитозоны с 2007 по 2016 г. показал повышение температуры грунта в зоне сплошной вечной мерзлоты вблизи глубины нулевой годовой амплитуды на  $0.39 \pm 0.15^\circ\text{C}$ . Наиболее активно оттаивание мерзлоты протекает сверху со скоростью до 0.6 м/год. В зоне южной тундры скорость оттаивания пока составляет 0.1 м/год. В зоне типичной тундры криолитозона остаётся стабильной и, по-видимому, будет сохраняться около 10–20 лет. Составлена оценочная карта-схема состояния мерзлоты в Западном секторе Российской Арктики (рис. 23). В исследовании участвовали сотрудники Института мерзлотоведения

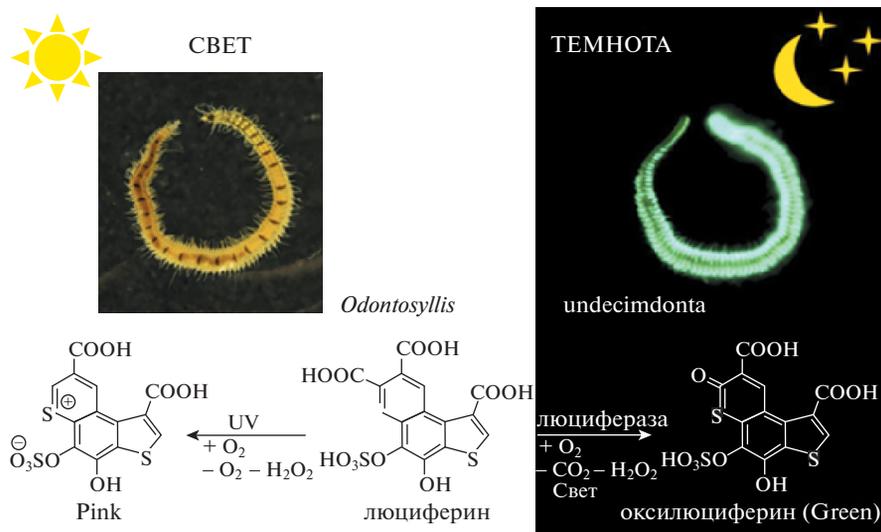


Рис. 24. Молекулярный механизм билюминесценции у морских полихет *Odontosyllis undecimdonga*

СО РАН им. П.И. Мельникова (Якутск), Института криосферы Земли СО РАН (Тюмень), Тюменского государственного университета, Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (Москва), Пушинского научного центра биологических исследований РАН (Пушино, Московская обл.), Коми научного центра УрО РАН (Сыктывкар).

В Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН созданы поисково-исследовательский комплекс и технология для эффективного контроля подводных ядерно- и радиационно-опасных объектов и параметров экосистем в местах их нахождения. В комплекс входят необитаемые подводные аппараты, оборудованные гидроакустической, фототелевизионной и гамма-спектрометрической аппаратурой, что позволяет идентифицировать особо опасные высокоактивные объекты в составе захоронений твёрдых радиоактивных отходов в Карском море (Новая Земля, залив Абросимова), оценить их состояние и воздействие на арктическую экосистему.

## НАУКИ О ЖИЗНИ

Сотрудники Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН (Москва) расшифровали молекулярные основы билюминесценции морских организмов *Odontosyllis*. Впервые определены структуры трёх ключевых низкомолекулярных компонентов билюминесцентной системы морских полихет *Odontosyllis undecimdonga*: люциферина, оксиллюциферина (Green), а также продукта неспецифического окисления люциферина (Pink) кислородом (рис. 24). Показано, что оксиллюциферин *Odontosyllis* – единственный из из-

вестных для морских люминесцентных организмов первичный эмиттер зелёного света.

В Федеральном исследовательском центре “Фундаментальные основы биотехнологии” РАН (Москва) обнаружили новый вариант цикла Кальвина, реализующийся при фиксации углекислоты и превращении её в органические соединения в термофильной хемолитоавтотрофной бактерии *Thermodesulfobium acidiphilum*. У данного микроорганизма необычным оказался ключевой фермент цикла Кальвина – рибулозобисфосфаткарбоксилаза/оксигеназа (РубисКО).

До настоящего времени считалось, что из трёх карбоксилирующих форм РубисКО только I и II формы участвуют в автотрофии, в то время как III форма ассоциировалась исключительно с метаболизмом нуклеотидов и считалась архейной. В новом варианте цикла *Thermodesulfobium acidiphilum* работает именно III форма. Это открытие проливает свет на понимание эволюции путей образования органического вещества на планете.

В Институте молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН (Москва) открыли новую реакцию, позволяющую синтезировать важные фрагменты для фармакологического дизайна. Процессу, получившему название “гидразосочетание”, дана детальная характеристика. Подобран универсальный катализатор реакции без дорогих переходных металлов и оптимизирована методика выделения продуктов. Реакция соответствует концепции “зелёной химии”, подразумевающей минимальное негативное влияние на окружающую среду. Исходные реагенты коммерчески доступны и позволяют получать как совершенно новые и перспективные соединения, так и те, что уже применяются при синтезе других

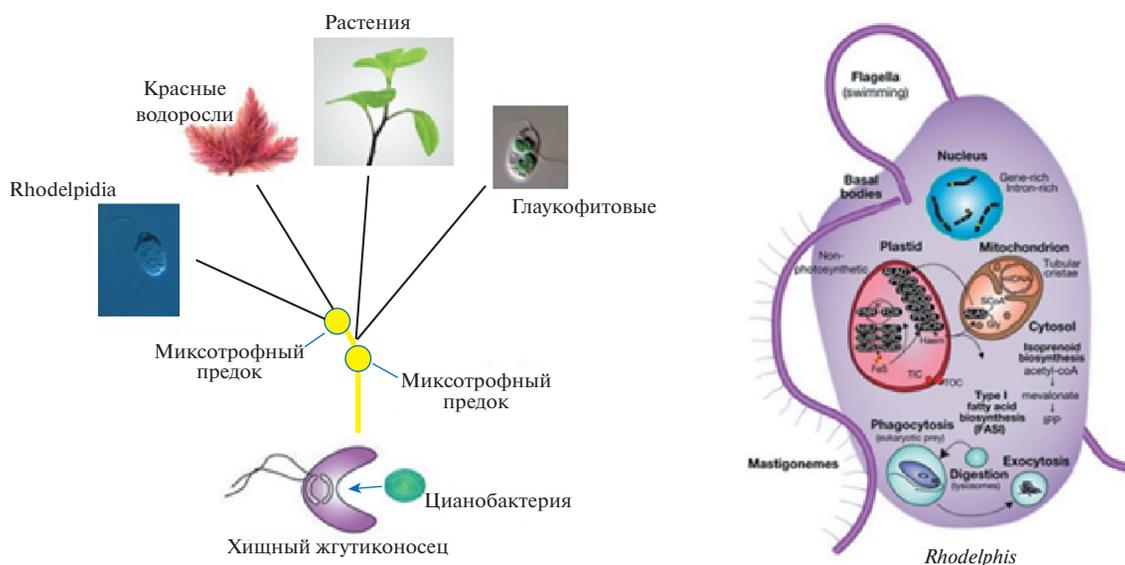


Рис. 25. Новый таксономический тип *Rhodelphidia*

медицинских препаратов и красителей. Например, выход 4-гидразинофенола (промежуточный продукт при производстве индометацина и базедоксифена, цена которого достигает нескольких сотен долларов за грамм) увеличился в 2 раза, по сравнению с промышленным синтезом – до 95%, а количество стадий сократилось с четырёх до двух.

В Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (пос. Борок, Ярославская обл.) открыли одноклеточные организмы, проливающие свет на происхождение растений и водорослей, их фотосинтезирующих органелл. Эти простейшие описаны как новый таксономический тип *Rhodelphidia* и представляют собой хищных жгутиконосцев с крупными геномами и реликтовой первичной пластидой, которая участвует в биосинтезе гема. Генетически родельфис (*Rhodelphis*) – ближайший родственник красных водорослей и зелёных растений, представляющий собой, по сути, одноклеточное хищное растение, имеющее древнее строение клетки. Открытие означает, что предки растений были хищниками, обладавшими фагоцитозом, то есть способностью заглатывать клетки своих жертв (рис. 25).

Учёные Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (Москва) впервые выявили значимые изменения в вызванных потенциалах мозга на речевые и неречевые стимулы у пациентов с синдромом Ретта (СР). Наиболее яркие изменения касались позитивного компонента с латентностью ~200 мс (P2), который был снижен у 11 из 12 пациентов с СР. Учитывая, что сходные изменения обнаружены в животных моделях, найденные нарушения могут

служить трансляционным маркером изменения работы мозга при синдроме Ретта и использоваться для оценки эффективности терапии этого заболевания.

В экспериментах на животных с полным повреждением спинного мозга специалистами Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (Санкт-Петербург) установлена принадлежность верхних сегментов поясничного утолщения к ключевым контроллерам инициации локомоторного поведения, а нижних – к их модуляторам. При одновременной стимуляции контроллеров и модуляторов обеспечивается полноценная локомоторная функция у животных с полным повреждением спинного мозга. Физиологи разработали инновационный метод чрескожной электрической мультисегментарной стимуляции спинного мозга, обеспечивающий локомоторно-постуральное взаимодействие у пациентов с повреждением спинного мозга, и установили, что у парализованных пациентов пространственно-временная электрическая стимуляция спинальных нейронных сетей может регулировать мышечный тонус, инициировать питательный ритм и восстанавливать двигательные функции.

В Институте биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан) на основе палеогеномных данных реконструировали историю заселения Сибири и Америки человеком современного типа, начиная с верхнего палеолита, и определили нуклеотидные последовательности целых геномов 34 древних жителей Сибири, включая двух древнейших индивидумов возрастом ~32 тыс. лет (рис. 26). Материалом для реконструкции послужила Янская стоянка (RHS, Северная Якутия) – самая северная палеолитическая стоянка челове-

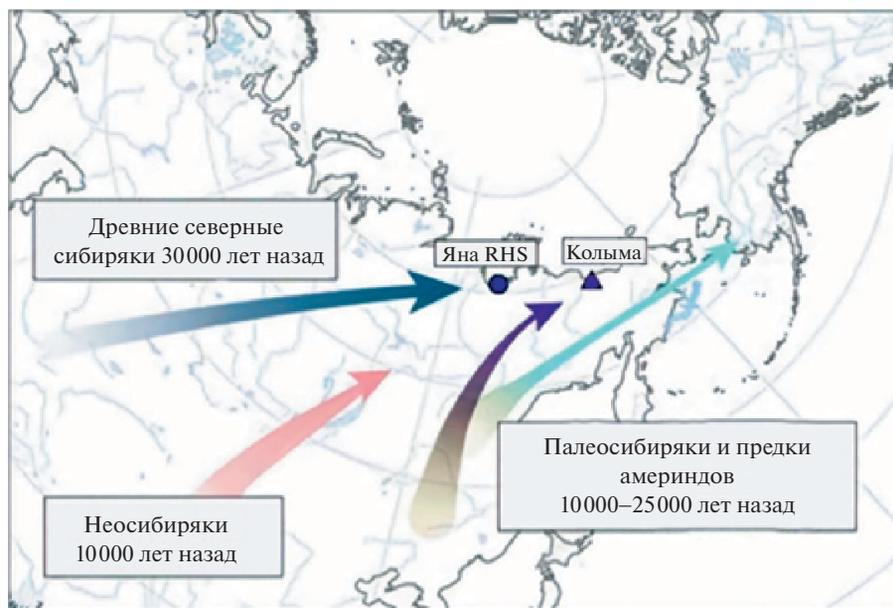


Рис. 26. История заселения Сибири и Америки человеком современного типа, начиная с верхнего палеолита

ка в Арктике, уникальный, единственный в своём роде объект мирового культурного наследия. Кроме того, генетики секвенировали и проанализировали геномы древних жителей Чукотки (от ~9 до ~2 тыс. лет), Северного Приохотья (~3 тыс. лет), Приморья (~7 тыс. лет) и Прибайкалья (от ~6 тыс. лет до средних веков).

Результаты долговременных исследований Совместной российско-монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и Академии наук Монголии обобщены и опубликованы в уникальном, не имеющем аналогов Атласе “Экосистемы Монголии”. В работе над этим крупным обобщающим картографическим трудом на разных этапах приняли участие более 100 учёных и специалистов — членов экспедиции, а также представители различных государственных, образовательных и негосударственных учреждений России и Монголии. Значительная часть карт характеризует природные экосистемы Монголии, степень и формы их дестабилизации под воздействием антропогенных факторов. Основу атласа составляют карты современной антропогенной нарушенности экосистем, подготовленные по результатам их мониторинга с 2010 по 2015 г., указаны причины негативных явлений.

#### МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

В Российском национальном исследовательском медицинском университете им. Н.И. Пирогова (Москва) создан уникальный, не имеющий аналогов в мире препарат для лечения аутоиммунных заболеваний — анкилозирующего спон-

дилита (болезнь Бехтерева) и псориатического артрита. Он обладает рядом серьёзных преимуществ перед используемыми сегодня антицитокинными моноклональными антителами, обеспечивая не только облегчение системной воспалительной реакции, но и надолго устраняя первопричину заболевания. Предполагается, что пациенты будут принимать препарат раз в 3–5 лет, а не еженедельно или ежемесячно, как сейчас.

Сотрудники Лаборатории радиационной биологии ОИЯИ (Дубна) и Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба (Обнинск) провели предклинические исследования нового метода повышения биологической эффективности протонной терапии для лечения опухолевых заболеваний с предварительным введением препарата арабинозидцитозина (АраЦ). Показано, что при облучении в присутствии препарата резко повышается частота возникновения двунигетивных (нерепарируемых) разрывов спирали ДНК. Проведена серия экспериментов с модельными животными — мышами с привитой опухолью меланомы, которые подтвердили существенное замедление развития опухоли (рис. 27). Получен патент на изобретение нового метода усиления радиационного воздействия на живые клетки.

В НИИ общей патологии и патофизиологии (Москва) на основе данных, полученных в результате изучения метилирования промоторных CpG-островков генов микроРНК при раке яичников и раке молочной железы, впервые разработали:

- тест-систему маркеров, позволяющую проводить раннюю диагностику рака яичников,

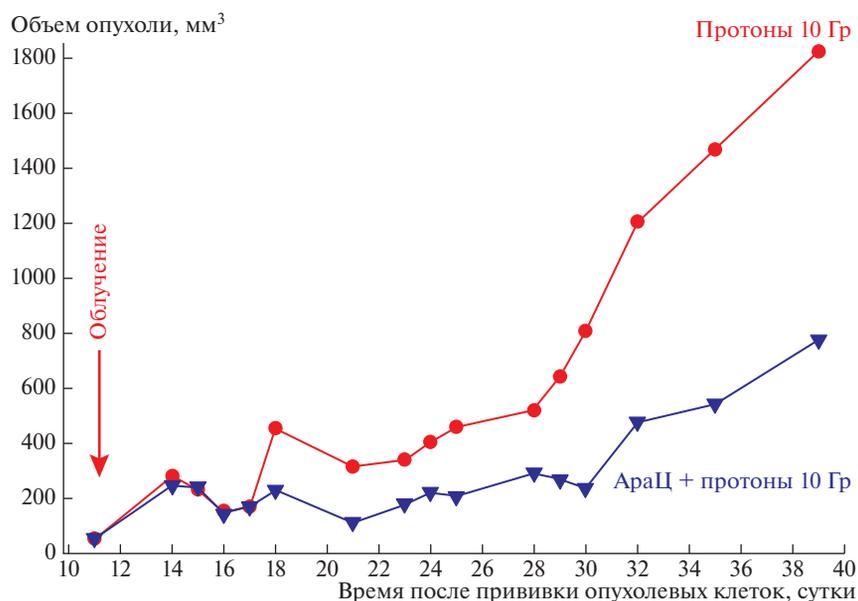


Рис. 27. Кинетика роста опухоли меланомы у мышей: облучение протонами в пике Брэгга в дозе 10 Гр

предсказывать метастазирование и неблагоприятный прогноз развития заболевания;

- оптимальную систему маркеров, позволяющую выявлять рак молочной железы на ранней стадии с высокой чувствительностью (91%) и специфичностью (88%);
- альтернативную систему маркеров с использованием комбинации белок-кодирующих генов (APAF1, BAX, BIM/BCL2L1, DAPK1) и гена MIR-125b-1; обнаружение метилирования хотя бы одного гена этой системы в послеоперационном или биопсийном материале достаточно для отнесения образца обследуемой пациентки к раку молочной железы.

В Национальном медицинском исследовательском центре онкологии им. Н.Н. Блохина (Москва) разработали тест-систему для диагностики и мониторинга эффективности лечения опухолей на основе анализа циркулирующей в крови опухолевой ДНК (цДНК). Система основана на выявлении фрагментов цДНК с мутациями, чаще всего обнаруживаемыми в солидных опухолях различных нозологий. Создана панель для таргетного секвенирования 50 генов. Исследования, в которых участвовало более 270 пациентов после радикального хирургического лечения, показали, что при отсутствии опухолевой цДНК в послеоперационном периоде только у 7.9% больных зарегистрировано прогрессирование, тогда как при её наличии — у 49%.

Сотрудники Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины (Новосибирск) доказали, что белково-углеводный молекулярный биомаркер Декорин

служит показателем прогноза течения глиобластомы, и определили потенциал его применения в клинической практике.

Большой коллектив учёных из Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (Новосибирск), Института биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича РАН (Москва), Государственного научного центра вирусологии и биотехнологии “Вектор” (пос. Кольцово, Новосибирская обл.) приняли участие в разработке биосенсоров для индикации белка VP-40 вируса Эбола путём выявления его иммунных комплексов со специфичными моноклональными антителами (МСА). Учёные показали, что реакция специфического взаимодействия VP-40 и МСА даёт более выраженный отклик сенсоров, чем прямая адсорбция VP-40 или антител на их поверхности.

В Научном центре неврологии (Москва) предложили новый метод лечения фармакорезистентной депрессии на основе навигационной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции (рТМС). Он заключается в персонализации подбора мишени для стимуляции с помощью оценки индивидуальных изменений функциональной коннективности мозга. Новый метод позволяет достичь клинически значимого эффекта в более ранние сроки по сравнению со стандартной рТМС — в 2 раза быстрее (на 10-м и 20-м сеансе соответственно).

В Российском научном центре хирургии им. академика Б.В. Петровского (Москва) разработали и внедрили в клиническую практику новую хирургическую технологию в лечении расщепления аорты с помощью гибридного протеза,



Рис. 28. Порода перепелов “Омская” мясо-яичной продуктивности

названного “мягким хоботом слона”, с меняющейся по длине радиальной силой стент-графта и нитиноловых корон, обеспечивающих каркас протеза. Представлен первый опыт имплантации более 20 протезов с нулевой летальностью и отсутствием аорто-ассоциированных осложнений и повторных вмешательств. Стоимость хирургической технологии снижена в 4 раза по сравнению с использованием жёстких аналогов. Данный протез зарегистрирован и доступен к имплантации в Российской Федерации.

#### СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Селекционеры Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко (Краснодар) создали ультраскороспелый сорт озимой мягкой пшеницы “Ультра 11”. Её созревание происходит на три недели раньше озимых культур, что позволяет в один год получать на том же поле сверхсильное зерно пшеницы, а затем урожай сои или кукурузы. Урожайность зерна – 10 т/га, содержание белка – 16%, клейковины – 32%, стекловидность – 99%. Сорт отличается засухоустойчивостью, жаростойкостью и повышенной морозостойкостью, устойчив к бурой ржавчине, умеренно устойчив к мучнистой росе и жёлтой ржавчине.

Кубанские селекционеры вывели новый сорт сахарной свёклы “Рубин”. Разработкой занимались сотрудники Первомайской селекционно-опытной станции сахарной свёклы (Краснодарский край). Сорт характеризуется высокой урожайностью (54.3 т/га) и сахаристостью (17.5%). Он устойчив к церкоспорозу и цветущности, слабо поражается корнеедом и корневыми гнилями. Полученный результат важен для восстановления

системы отечественного репродуктивного семеноводства в условиях, когда большинство предприятий работают с зарубежным семенным материалом.

Во ВНИИ генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиале Федерального научного центра животноводства им. академика Л.К. Эрнста (пос. Дубровицы, Московская обл.) разработали метод создания трёхпородного бройлерного кросса кур ВНИИГРЖ ФБ 1 для фермерских и приусадебных хозяйств с повышенной питательной ценностью яиц и мяса. Для выведения трёх специализированных линий кросса использовались три породы кур, сохраняемые в “Генетической коллекции редких и исчезающих пород кур” ВНИИ ГРЖ: суссекс, брама и корниш. Кросс ВНИИ ГРЖ ФБ 1 характеризуется хорошей мясной скороспелостью и питательностью, приспособленностью к суровым климатическим условиям, особенно в северо-западных регионах России.

Учёные Сибирского НИИ птицеводства – филиала Омского аграрного научного центра (с. Морозовка, Омская обл.) методом сложного воспроизводительного скрещивания вывели первую отечественную породу мясо-яичных перепелов “Омская” (рис. 28). Перепела имеют лучшие показатели продуктивности по сравнению с японской породой: живая масса шестинедельных самцов больше на 26.2%, самок – на 40.4%, масса их яиц в десять недель выше на 20.7%. Яйценоскость омских перепелов на 18.6% превосходит породу фараон. Помимо этого, они обладают высокой способностью к адаптации. Специалисты Федерального научного агроинженерного центра



Рис. 29. Инвестиционные проекты в Арктической зоне РФ

ВИМ (Москва) создали первую отечественную роботизированную доильную установку, которая обеспечивает дифференцированное выдаивание, мониторинг качества молока в потоке и контроль физиологического состояния животных. Установка обладает рядом конкурентных преимуществ по сравнению с зарубежными аналогами.

Межведомственный экспертный совет во главе с Почвенным институтом им. В.В. Докучаева и Институтом географии РАН (Москва), в который входят 104 специалиста из 26 организаций, опубликовал второй том Национального доклада “Глобальный климат и почвенный покров России”, посвященный проблемам опустынивания и деградации земель, институциональным, инфраструктурным и технологическим мерам адаптации.

#### СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

В Национальном исследовательском институте мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН вышла монография Е.С. Садовой, В.А. Сауткиной и А.Р. Зенкова “Формирование новой социальной реальности: технологические вызовы”. Учёные проанализировали воздействие информационных технологий на модели социальной организации и соци-

ально-экономические процессы и доказали, что цифровизация, раскрывая перед человечеством новые возможности выбора вариантов обучения, профессиональной реализации, способов лечения и рекреации, одновременно несёт и серьёзные вызовы, становясь механизмом “сворачивания” системы мироустройства, основанной на постоянном росте материального потребления. В монографии раскрыт процесс сокращения спроса на труд в условиях высокотехнологичной экономики, усиливающего напряжённость в сегменте низко- и среднеквалифицированного труда, с неизбежностью требующего пересмотра принципов организации всей социальной сферы. Показано, как новые образовательные технологии ведут к фрагментации образовательного пространства (от профессий к компетенциям).

Сотрудники Института экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск) показали, что для сбалансированного пространственного развития территорий Азиатской части России необходимо реализовать комплекс инвестиционных проектов по развитию морской портовой инфраструктуры Арктической зоны РФ, обновить и расширить морской флот. Северный морской путь играет роль связующего звена и выступает каналом горизонтальной интеграции проектов в существующие про-

мышленно-логистические цепочки. Учёные показали, что инфраструктурное развитие Арктики делает рентабельным запуск ряда крупных ресурсных инвестиционных проектов, способных генерировать значительные грузопотоки (рис. 29). Совокупный эффект от обеспечения меридиональной связанности Севера и Юга заключается в удлинении цепочки создания добавленной стоимости на территории России, запуске мультипликативных эффектов от реализации ресурсных проектов Арктики и их пространственной диффузии.

Санкт-Петербургское издательство “Дмитрий Буланин” выпустило в свет двухтомную монографию “Думные и комнатные люди царя Михаила Романова: просопографическое исследование”, посвящённую изучению правящих верхов Русского государства в начале царствования династии Романовых. Автор исторического труда — ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института истории РАН доктор исторических наук А.П. Павлов. На основе архивного материала историк проанализировал несколько тысяч биографий представителей так называемого Государева двора царя Михаила Фёдоровича. В ходе исследования автор проследил процесс укрепления самодержавной власти — одной из важнейших задач по преодолению государственного кризиса Смутного времени. В монографии доказано, что созданная новой династией социальная элита во многом отличалась от предшествующей эпохи, а Россия XVII в. представляла собой качественно иное государственное образование по сравнению с державой московских Рюриковичей.

В Санкт-Петербургском издательстве “Нестор-История” вышел в свет “Лингвистический атлас вепского языка”, подготовленный сотрудниками Института языка, литературы и истории Карельского научного центра РАН (Петрозаводск) и учёными Санкт-Петербурга. Атлас характеризует современное состояние языка одного из малочисленных народов финно-угорской семьи и его место в прибалтийско-финском континууме. Создание Атласа значительно углубляет уровень исследования вепского языка, отличающегося значительной спецификой в прибалтийско-финском мире.

Институт философии РАН (Москва) представил систематический обзор советской философии второй половины XX в., реконструирующий развитие подлинной философской мысли конца 1950-х — начала 1990-х годов. В фундаментальном

англоязычном издании “Philosophical Thought in Russia in the Second Half of the XXth Century: Problems and Discussions”, подготовленном под руководством академика В.А. Лекторского, проанализированы труды ярких мыслителей — Э.В. Ильенкова, Г.П. Щедровицкого, Ю.М. Лотмана, М.К. Мамардашвили, А.А. Зиновьева, которые видели в философии средство реформирования социальной и интеллектуальной жизни. Главное значение данного труда заключается в выстраивании связей между отечественной и мировой философией и реабилитации советской философии второй половины XX в. как полноправного этапа развития отечественной философской мысли.

В Институте русской литературы РАН (Пушкинский Дом) создали электронный ресурс “Академические собрания сочинений” [www.russian-literature.org](http://www.russian-literature.org), основанный на материале научно подготовленных комментированных собраний сочинений классиков русской литературы, выпущенных в основном в Пушкинском Доме в период с 1930-х годов по настоящее время.

Академические собрания сочинений определяют новое качество бытования классических текстов, многократно усиливают их влияние на отечественную и мировую культуру. Это воздействие потенциально расширяется, когда собрание публикуется в электронной версии. На сайте [www.russian-literature.org](http://www.russian-literature.org) представлены 16 собраний сочинений (всего около 160 томов): В.Г. Белинского, Н.В. Гоголя, Ф.М. Достоевского, В.В. Капниста, М.Ю. Лермонтова, Н.А. Некрасова, Ф. Прокоповича, А.С. Пушкина, А.Н. Радищева, М.Е. Салтыкова-Щедрина, И.С. Тургенева. Создание ресурса стало значительным вкладом Пушкинского Дома в формирование электронной информационной среды по русской словесности.

\* \* \*

Представленные в докладе краткий обзор состояния фундаментальной науки в Российской Федерации и важнейшие научные достижения российских учёных, полученные в 2019 г., свидетельствуют о том, что отечественная фундаментальная наука продолжает сохранять широкий фронт исследований и отчётливые представления о путях дальнейшего развития в общей перспективе мировой науки.

**О РАБОТЕ ПРЕЗИДИУМА РАН ЗА ОТЧЁТНЫЙ ПЕРИОД  
ДОКЛАД ГЛАВНОГО УЧЁНОГО СЕКРЕТАРЯ ПРЕЗИДИУМА РАН  
АКАДЕМИКА РАН Н.К. ДОЛГУШКИНА**

*Российская академия наук, Москва, Россия*

*E-mail: dolgushkin@presidium.ras.ru*

Поступила в редакцию 26.06.2020 г.

После доработки 26.06.2020 г.

Принята к публикации 09.07.2020 г.

*Ключевые слова:* Российская академия наук, президиум РАН, решения общих собраний членов РАН, научно-организационная деятельность, координация научных исследований, экспертная деятельность, реформирование научной сферы, научные кадры, награды и премии.

**DOI:** 10.31857/S0869587321010023

Работа президиума РАН в отчётный период была направлена на достижение целей, реализацию задач и функций Академии наук, выполнение решений общих собраний членов РАН.

Президиумом РАН рассматривались актуальные вопросы реализации государственной научно-технической политики, задачи научного обеспечения приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, своевременного предвидения и выработки мер парирования глобальных вызовов и угроз.

#### НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2019 г. состоялись два общих собрания членов РАН.

23–24 апреля на собрании обсуждались и были утверждены доклады “О приоритетных направлениях деятельности РАН по реализации государственной научно-технической политики и о важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными в 2018 году”, “О работе президиума РАН за отчётный период”. Рассмотрен и одобрен проект Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2035 гг.).

13–15 ноября были проведены выборы академиков РАН, членов-корреспондентов РАН и иностранных членов РАН, рассмотрены и внесены изменения и дополнения в устав РАН. Принято решение об открытии четвёртого представительства РАН, расположенного на территории Самарской области.

В рамках осеннего собрания состоялись две научные сессии. Участники первой из них —

“Фундаментальные проблемы развития современного российского общества” — подчёркивали необходимость развития общественных и гуманитарных наук, более широкого использования их результатов при разработке и реализации стратегий государственного развития. Заслушано 10 докладов, принято решение о разработке Концепции развития общественных наук. Вторая научная сессия — “Периодическая таблица элементов — универсальный язык естествознания” — была посвящена объявленному ЮНЕСКО Международному году Периодической таблицы химических элементов. На сессии рассматривались исторические аспекты открытия и развития Периодического закона Д.И. Менделеева, современные направления развития химии и наук о материалах, роль химических элементов в медицине, космосе и других отраслях. Были заслушаны 7 научных докладов<sup>1</sup>.

По инициативе РАН, Минобрнауки России, Российского химического общества им. Д.И. Менделеева учреждена международная премия ЮНЕСКО–России им. Д.И. Менделеева за достижения в области фундаментальных наук.

Главное внимание при планировании вопросов повестки заседаний президиум РАН уделял наиболее значимым актуальным научным проблемам, решение которых определяет пути не только социально-экономического развития страны, но и преодоления глобальных вызовов. В заседаниях президиума принимали участие ведущие российские учёные, руководители и специалисты заин-

<sup>1</sup> Доклады, зачитанные на научных сессиях 2019 г., опубликованы в журнале “Вестник Российской академии наук”. 2019. № 3, 4.

тересованных министерств, ведомств, научных организаций, бизнеса. За отчётный период президиумом проведено 20 заседаний, на которых рассмотрено 105 вопросов, заслушаны 30 научных докладов.

Состоялось совместное заседание с президиумом Национальной академии наук Беларуси, на котором рассматривался вопрос “О роли науки в социально-экономическом развитии и формировании единого научно-технологического пространства Союзного государства”<sup>2</sup>. Обсуждены перспективные проекты программ Союзного государства, Соглашение о научно-техническом сотрудничестве, которое было подписано 18 июля 2019 г. в рамках VI Форума регионов России и Беларуси в Санкт-Петербурге. Утверждены Положения о Межакадемическом совете по проблемам развития Союзного государства, новая редакция Положения о премии, присуждаемой Российской академией наук и Национальной академией наук Беларуси за выдающиеся научные результаты, полученные в ходе совместных исследований. Состоялось вручение дипломов российским лауреатам конкурса РАН и НАН Беларуси 2018 г. за выдающиеся научные результаты, полученные в рамках совместных исследований.

На заседаниях президиума РАН обсуждались важнейшие вопросы применения методов математического моделирования в цифровую эпоху, проблемы территориальной связанности страны, безопасности атомной энергетики, персонализированной медицины, сохранения историко-культурного наследия России, международного научно-технического сотрудничества, современных климатических изменений, включая климат Арктики.

Ниже приведён перечень рассмотренных научных проблем, сгруппированных по стратегическим направлениям научно-технологического развития Российской Федерации.

По итогам рассмотрения проблемы **пространственного развития страны** президиумом РАН поручено:

- разработать дорожную карту научного сопровождения опережающего развития Центральной и Восточной Сибири;
- поддержать предложение УрО РАН о создании Уральского центра высокопроизводительных вычислений, обработки и хранения больших объёмов данных, Уральского центра технологий и материалов, Уральского межрегионального научно-образовательного центра “Передовые промышленные технологии”, Удмуртского научно-

образовательного центра “Материалы с программируемыми свойствами”, Уральского центра социогуманитарных технологий и экспертиз и других научно-технологических и гуманитарных центров, вошедших в проект Комплексного плана развития УрО РАН.

Обсуждение проблемы **изменения климата** было нацелено на сохранение комфортной для проживания природной среды, повышение эффективности использования ресурсов наземных экосистем, освоения Арктики. Президиум РАН поручил:

- Научному совету по лесу подготовить предложения по проекту концепции нового федерального закона “Лесной кодекс Российской Федерации”;
- рекомендовать РНФ и РФФИ организовать дополнительные тематические конкурсы, направленные на изучение биосферных функций наземных экосистем, сохранение растительных генетических ресурсов;
- поддержать создание специализированного национального центра комплексных арктических исследований в Минприроды России при участии РАН;
- провести научный семинар с рассмотрением вопросов, связанных с эмиссией метана в Арктических морях России и его влиянием на арктический и планетарный климат.

Проблема **безопасности атомной энергетики** рассматривалась с точки зрения обеспечения повышенных требований к обновлению научно-технической и производственной базы высокотехнологических отраслей промышленности и энергетики. Отмечена сложившаяся практика сотрудничества РАН, научных организаций и Госкорпорации “Росатом” в области безопасности атомной энергетики с привлечением ведущих учёных и специалистов.

По результатам обсуждения вопросов **математического моделирования в эпоху цифровой экономики** президиум РАН рекомендовал шире использовать компьютерные разработки, в частности модель “Интеллектуальная Россия”, в деятельности Научно-координационного совета РАН по проблемам прогнозирования и стратегического планирования в Российской Федерации и поручил представить предложения об использовании математических моделей, построенных с учётом лучших мировых практик, для оценки последствий государственных управленческих решений в области реализации национальных проектов.

**Сохранение историко-культурного наследия России** — один из наиболее важных общенациональных приоритетов развития российского общества, обеспечения исторической преемствен-

<sup>2</sup> Материалы этого заседания президиума РАН опубликованы в журнале “Вестник Российской академии наук”. 2019. № 11.

ности, сохранения исторической памяти. Президиум РАН поручил:

- подготовить предложения по программе изучения и сохранения историко-культурного наследия России, модернизации архивного и музейного дела в РАН;

- инициировать разработку вопросов правового статуса музеев РАН.

В связи с развитием **принципиально новых подходов в области персонализированной медицины и создания инновационных лекарств** президиумом РАН решено подготовить предложения:

- по дальнейшему внедрению новых методов биологии и комбинаторной синтетической и медицинской химии в области биомедицины;

- относительно поддержки создания профильных подразделений по скрининговым биомедицинским технологиям в научных центрах генных исследований мирового уровня;

- по развитию научных школ в этой области;

- по формированию в структуре Межведомственного совета РАН по научному обоснованию и сопровождению лекарственной политики Российской Федерации секции по изучению основ лекарственной и антибиотикорезистентности и разработке соответствующей программы.

**Новая коронавирусная инфекция COVID-19.** С февраля 2020 г. Российская академия наук активно включилась в борьбу с коронавирусной инфекцией. Проведены два заседания президиума РАН, посвящённые фундаментальным аспектам эпидемиологии, диагностики и профилактики COVID-19. Академией подготовлены документы для Правительства РФ, включая научные разработки, предложения РАН по противодействию эпидемии, а также о создании Научного центра изучения особенностей поведения человека в чрезвычайных ситуациях и др.

Совместно с телеканалом “Россия 24” Академия наук запустила проект «“Россия 24” – РАН: учёные о коронавирусе. Факты, гипотезы, прогнозы», в котором приняли участие члены академии и профессора РАН. Каждая программа – это взгляд на коронавирус с точки зрения отделений РАН по областям и направлениям науки. На сайте РАН ежедневно размещалась оперативная информация о коронавирусе, информационный проект профессоров РАН “COVID-19 – мнение ведущих учёных и практических врачей. Коротко – о главном” ([www.ras.ru](http://www.ras.ru)).

Научный совет РАН “Науки о жизни” (председатель – академик РАН В.П. Чехонин), Отделение медицинских наук РАН провели серию видеоконференций по COVID-19: “Коронавирус – глобальный вызов науке”, “Чего мы не знаем о COVID-19?”, “Вакцины от COVID-19: реальность и практика”, “Лечение COVID-19: новые мето-

ды”, на которых с докладами выступили ведущие учёные Академии наук в области медицины, биологии, эпидемиологии, вирусологии.

В мае 2020 г. Российская академия наук совместно с Вольным экономическим обществом России и Международным Союзом экономистов выступила соорганизатором онлайн-сессии Московского академического экономического форума на тему “Постпандемический мир и Россия: новая реальность?”, которая была посвящена анализу текущей ситуации, плану действий по оздоровлению российской экономики, выходу из кризиса и восстановлению занятости, доходов граждан и росту экономики. 10 июня 2020 г. проведена совместная видеоконференция РАН и НАН Беларуси “Коронавирусная инфекция: фундаментальные, клинические и эпидемиологические аспекты. Социально-экономические вызовы здравоохранению”.

По итогам рассмотрения этих и других научных проблем на заседаниях президиума РАН разрабатывались конкретные предложения для руководства страны, а также по принадлежности для министерств и ведомств.

На постоянном контроле президиума РАН находились вопросы выполнения решений общих собраний членов РАН, прежде всего касающиеся защиты интересов науки и научного сообщества, а также повышения эффективности деятельности академии.

По поручению общего собрания членов РАН в адрес Правительства РФ и Минобрнауки России были направлены обращения:

- о необходимости продления предельного возраста для замещения должностей руководителей научных организаций с 65 до 70 лет. В настоящее время закон о внесении изменений в Трудовой кодекс РФ в части повышения предельного возраста руководителей подписан Президентом РФ В.В. Путиным (федеральный закон № 157-ФЗ “О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации в части установления предельного возраста для замещения должностей руководителей, заместителей руководителей государственных и муниципальных образовательных организаций высшего образования и научных организаций и руководителей их филиалов”);

- об отмене вызвавшего большой резонанс в научном сообществе ведомственного акта Минобрнауки России, регламентирующего приём иностранных учёных (в настоящее время приказ отменён).

РАН согласовала проект закона “О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)”, устанавливающий обязательность подготовки диссертации на соискание учёной

степени кандидата наук. Законопроект принят Государственной думой в первом чтении.

На заседаниях президиума РАН неоднократно обсуждались актуальные вопросы, касающиеся деятельности академии:

- утверждён порядок реализации постановления Правительства РФ от 30 декабря 2018 г. № 1781 о научно-методическом руководстве, которое осуществляется отделениями РАН во взаимодействии с региональными отделениями, а также перечень научных организаций, находящихся под научно-методическим руководством РАН;

- заслушана информация первого заместителя министра науки и высшего образования РФ академик РАН Г.В. Трубникова о методике оценки результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения. Президиум РАН счёл целесообразным подготовить положение о выездных экспертных комиссиях по оценке результативности деятельности научных учреждений, в состав которых должны входить представители от РАН и Минобрнауки России;

- президиум РАН обратился в Правительство РФ с инициативой об изменении статуса Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России, определив её учредителем Правительство РФ. Предложено утверждать состав ВАКа, её президиум и председателя решением Правительства РФ по согласованию с РАН;

- президиум РАН принял решение обратиться в Правительство РФ с предложением отложить сроки принятия федерального закона «О научной и научно-технической деятельности в Российской Федерации» в связи с необходимостью более широкого обсуждения научной общественностью как концепции, так и содержания проекта данного закона;

- в сентябре 2019 г. президиум РАН заслушал сообщения академиков РАН В.Е. Фортова, Г.Я. Красникова, А.Г. Литвака, Ю.С. Осипова, Р.И. Нигматулина и В.А. Рубакова о предполагаемой реорганизации Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Российского научного фонда (РНФ); была выражена серьёзная озабоченность по этому поводу. Президиум РАН отметил, что любое реформирование существенных элементов научной политики, каковыми являются эти фонды, должно проводиться на основе широкого обсуждения научной общественностью, путём согласования с РАН и последующим принятием решения Советом при Президенте РФ по науке и образованию. По поручению президиума было подготовлено и направлено обращение по данному вопросу в Правительство РФ;

- в марте 2020 г. президиум РАН вновь вернулся к обсуждению ситуации с изменением функционала РФФИ. Предложено провести совещание руководителей Минобрнауки России, РАН, РФФИ и РНФ, на котором обсудить сложившуюся ситуацию и создать межведомственную рабочую группу для разработки концепции реформирования фондов. О сложившейся ситуации было проинформировано Правительство РФ;

- в феврале 2020 г. на заседании президиума РАН с участием министра науки и высшего образования РФ В.Н. Фалькова состоялось обсуждение вопросов обновления приборной базы и принципов установления нормативов публикационной результативности для научных организаций. При обсуждении методики расчёта публикационной активности научных организаций в рамках госзадания президиум РАН поддержал предложения отделений РАН гуманитарного и общественного профиля и направил их в Минобрнауки России для учёта при доработке методики;

- 2 июня 2020 г. президиум РАН обсудил вопрос совершенствования системы самостоятельного присуждения организациями учёных степеней. Отмечалось, что опыт, накопленный в ходе реализации постановления Правительства РФ от 11 мая 2017 г. № 553 «Об утверждении Положения о формировании перечня научных организаций и образовательных организаций высшего образования, которым предоставляются права, предусмотренные абзацами вторым—четвёртым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона «О науке и государственной научно-технической политике»», недостаточен, чтобы сделать вывод о целесообразности расширения перечня организаций, которым предоставляется право самостоятельно присуждать учёные степени. Принято решение обратиться в Правительство РФ, Совет при Президенте РФ по науке и образованию с предложением о введении трёхлетнего моратория на включение научных и образовательных организаций высшего образования в уже имеющийся перечень;

- президиум РАН рассмотрел вопрос об аттестации научных организаций и принял решение обратиться в Минобрнауки России с предложением о совместном обсуждении повторного проведения аттестации научных организаций.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ФЕДЕРАЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ

Члены РАН широко представлены в советах и комиссиях при Президенте Российской Федерации, Правительстве Российской Федерации, Совете Федерации и Государственной думе, а также в научно-технических и общественных советах при министерствах и ведомствах.

Продолжилось активное взаимодействие Академии наук с Советом Федерации ФС РФ в рамках подписанного в 2018 г. Соглашения о сотрудничестве. Более 70 членов РАН состоят в советах и комиссиях при Совете Федерации. По предложению РАН одно из заседаний Научно-экспертного совета при Председателе Совета Федерации было посвящено проблемам и перспективам освоения биоресурсов Мирового океана в интересах Российской Федерации. На заседании правления Интеграционного клуба при Председателе Совета Федерации, где рассматривался подготовленный с участием членов РАН проект ежегодного доклада “Будущее Евразийского экономического союза: цифровая трансформация и молодёжь”, выступил президент РАН академик РАН А.М. Сергеев.

Продолжается тесное взаимодействие РАН с Государственной думой, её комитетами. На площадке РАН состоялось расширенное заседание Рабочей группы по разработке нормативных правовых актов в сфере научной, научно-технической и инновационной деятельности с участием Комитета Государственной думы по образованию и науке, представителей Минобрнауки России, ВАКа, государственных корпораций, научных организаций, фондов, бизнеса, на котором рассматривался вопрос о проекте федерального закона “О научной и научно-технической деятельности в Российской Федерации”.

Члены академии приняли участие в заседании Экспертного совета ГД по вопросам развития региональной и муниципальной науки при Комитете Государственной думы по образованию и науке, где обсуждались проблемы правового обеспечения развития региональной и муниципальной науки в контексте проекта ФЗ “О научной, научно-технической и инновационной деятельности” и в работе Экспертного совета Государственной думы по организации фундаментальных и прикладных научных исследований.

Члены РАН активно участвовали в деятельности Рабочей группы по подготовке предложений о внесении поправок в Конституцию Российской Федерации. По их предложению пункт “е” статьи 71 “Установление основ федеральной политики и федеральные программы в области государственного, экономического, экологического, социального, культурного и национального развития Российской Федерации” дополнен словами “научно-технологического”, часть 1 статьи 114 дополнена словами: “обеспечивает государственную поддержку научно-технологического развития Российской Федерации, сохранения и развития её научного потенциала”.

За минувший год академией по запросам Администрации Президента РФ, Правительства РФ, Совета Безопасности РФ, министерств и ве-

домств подготовлено более 40 информационно-аналитических материалов по важнейшим проблемам развития страны.

РАН активно участвует в реализации задач национального проекта “Наука” – в создании научно-образовательных центров и научных центров мирового уровня, включая сеть международных математических центров и центров геномных исследований, в оценке результативности деятельности организаций, выполняющих научные исследования и разработки, в определении критериев обновления приборной базы. Согласовано решение о проведении обязательной экспертизы РАН при реализации проекта обновления приборной базы в 2020–2024 гг.

Члены РАН принимали активное участие в деятельности Координационного совета по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации Совета при Президенте РФ по науке и образованию (далее – Координационный совет), а также в работе Советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации (далее – Советы по приоритетам). В состав Координационного совета и Советов по приоритетам входят 15 членов РАН, в том числе президент РАН А.М. Сергеев (председатель Координационного совета), вице-президент РАН академик РАН В.Г. Бондур (заместитель председателя Координационного совета). Состоялось около 60 заседаний Советов по приоритетам, на которых рассмотрено 80 заявок на разработку Комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла.

Следует отметить плодотворное взаимодействие президиума РАН и Совета Безопасности РФ в сфере стратегического планирования и прогнозирования социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности страны. Начал работу постоянный семинар Научно-координационного совета РАН по проблемам прогнозирования и стратегического планирования в Российской Федерации.

Члены РАН приняли участие в подготовке большого количества запрашиваемых материалов, в том числе:

- информационно-аналитической записки к докладу Правительства РФ “О состоянии экономической безопасности РФ в 2018 г. и мерах по её укреплению”;
- важнейших результатов исследований в интересах выполнения Плана мероприятий по реализации Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечению национальной безопасности на период до 2020 г., полученных в 2018 г. в рамках ПФНИ РАН “Арктика – научные основы технологий освоения, сохранения, развития” и “Фун-

даментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности”;

- материалов “О научных подходах к определению стратегических приоритетов при корректировке Стратегии национальной безопасности РФ и развитию системы стратегического планирования”.

В целом за отчётный период в президиум РАН поступило около 1400 документов из Администрации Президента РФ, Правительства РФ, Совета Безопасности РФ, Совета Федерации, Государственной думы, Счётной палаты РФ. Всего в 2019 г. документооборот составил 12 340 ед. (для примера: в 2017 г. – 9150, в 2018 г. – 11 008), в том числе около 2000 обращений граждан и организаций. В соответствии с Указом Президента РФ от 17 апреля 2017 г. № 171 РАН ежемесячно представляет в Администрацию Президента РФ информацию о результатах их рассмотрения и принятых мерах по таким обращениям для размещения на информационном ресурсе ССТУ.РФ.

#### СОТРУДНИЧЕСТВО РАН В СФЕРЕ НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Продолжалась работа по подписанию и реализации соглашений о сотрудничестве РАН с органами государственной власти Российской Федерации, субъектами Российской Федерации, государственными корпорациями и другими организациями. Значительное увеличение числа заключённых соглашений за последние два года свидетельствует о повышении интереса к академии со стороны субъектов научной и научно-технической деятельности. За 2019 г. подписаны 24 новых соглашения (в 2017 г. – 9 соглашений, в 2018 г. – 21), возрастает заинтересованность российских регионов во взаимодействии с РАН.

Подписаны новые соглашения с рядом регионов, министерствами и ведомствами, союзами, крупными акционерными обществами, научно-исследовательскими центрами, информационными агентствами и другими организациями, в их числе: Правительство Сахалинской области; Республика Саха (Якутия); Министерство спорта РФ, Минобрнауки России и Федеральное медико-биологическое агентство; Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки; Российский союз промышленников и предпринимателей; Вольное экономическое общество и Международный союз экономистов; МГУ им. М.В. Ломоносова (о содействии развитию научно-технологической деятельности, осуществляемой на территории Инновационного научно-технологического центра МГУ “Воробьёвы горы”); Международный НИИ проблем управления; Уд-

муртский государственный университет; РХТУ им. Д.И. Менделеева и Фонд развития инновационного научно-технологического центра “Долина Менделеева”; ПАО “СИБУР Холдинг”; ПАО “Транснефть”; Всероссийский профессиональный союз работников РАН; ТК “Цивилизация”; АО «НПП “Радий”»; Новикомбанк, опорный банк Госкорпорации “Ростех”.

Научное взаимодействие реализуется в виде конкретных проектов, программ совместных исследований и дорожных карт. Так, в рамках сотрудничества РАН и Росрыболовства в 2019 г. проведены совместные исследования экосистем, продуктивности и биоресурсов морей Сибирской Арктики, Южного океана, российских вод Чёрного и Азовского морей, а также экологии и рыбного хозяйства реки Волги и озера Байкал, утверждена программа совместных исследований на 2020 г.

В рамках соглашения с фондом “Росконгресс” РАН участвовала в Восточном экономическом форуме – 2019 (г. Владивосток), Петербургском международном экономическом форуме – 2019, Российском инвестиционном форуме “Сочи–2019”.

“ФосАгро” стала первой частной компанией, с которой Российская академия наук заключила долгосрочное соглашение в сфере инновационного развития. При поддержке РАН в 2019 г. с участием членов академии на агрополигонах “ФосАгро” в Московской, Орловской, Саратовской областях и в Краснодарском крае успешно проведено более 100 испытаний систем минерального питания сельхозкультур и составлен каталог этих систем с учётом почвенно-климатических условий.

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ КООРДИНАЦИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одно из важнейших направлений деятельности РАН – обеспечение координации фундаментальных и поисковых научных исследований в области естественных, технических, медицинских, сельскохозяйственных, общественных и гуманитарных наук. Основными инструментами, позволяющими проводить научные исследования, являются Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. и программы фундаментальных исследований по приоритетным направлениям, определяемым президиумом РАН.

В соответствии со ст. 17 федерального закона от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ и уставом РАН академией разработан проект Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период

(2021–2035 гг.). Особое внимание уделяется целостности системы организации фундаментальных научных исследований в России. Программа включает 6 подпрограмм, сформулированных с учётом принятых стратегических документов, действующего законодательства и поручений Президента РФ.

1. Аналитические исследования, определение и прогнозирование перспективных и критически важных направлений современной науки, выявление больших вызовов, совершенствование системы стратегического планирования.

2. Фундаментальные научные исследования.

3. Фундаментальные исследования, проводимые на уникальных научных установках и объектах класса “мегасайенс”.

4. Ориентированные фундаментальные исследования по направлениям Стратегии НТР.

5. Инициативные фундаментальные научные исследования, финансируемые фондами поддержки научной и научно-технической деятельности и из внебюджетных источников.

6. Научные исследования, реализуемые в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обеспечения обороны и безопасности государства.

После одобрения проекта Программы общим собранием членов РАН в 2019 г. он был доработан с учётом замечаний и предложений Координационного совета по Программе, согласован со всеми заинтересованными министерствами и ведомствами и представлен в Правительство Российской Федерации на утверждение.

Подготовлен и направлен Правительству РФ доклад об итогах реализации в 2018 г. Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг.

Несмотря на ряд трудностей с организацией Программ фундаментальных исследований (далее – Программы ФИ) по приоритетным направлениям, определяемым президиумом РАН, в 2019 г. исследования проводились силами 307 организаций по 25 укрупнённым программам, включая 3 региональных программы. Их финансирование составило 1.68 млрд руб. В рамках Программ ФИ, включающих 1550 проектов со средним объёмом финансирования 1085 тыс. руб., осуществлялась координация исследований, в которых участвовали почти половина членов РАН (45%) и значительное число сотрудников научных организаций, подведомственных Минобрнауки России и находящихся под научно-методическим руководством РАН (около 30% докторов наук, около 24% кандидатов наук). Несмотря на позднее начало работ по проектам Программ ФИ (финансирование в научные организации начало поступать в августе 2019 г.) получены значимые

научные результаты, достигнуты высокие наукометрические показатели.

С 2020 г. вместо Программ ФИ, с 2002 г. игравших исключительно важную роль в координации фундаментальных исследований, прежде всего междисциплинарных, вводится грантовая система. В соответствии с постановлением Правительства РФ от 27 декабря 2019 г. № 1902 “Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета грантов в форме субсидий на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития” президиум РАН определяет направления, по которым научным организациям и образовательным организациям высшего образования будут предоставляться гранты на конкурсной основе с объёмом финансирования до 100 млн руб. ежегодно на выполнение крупных научных проектов. Представители РАН вошли в состав экспертного совета Минобрнауки России по формированию тематик крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития и критериев их конкурсного отбора, сопредседателями которого стали президент РАН академик РАН А.М. Сергеев и заместитель министра науки и высшего образования РФ член-корреспондент РАН С.В. Люлин.

В первом квартале 2020 г. президиум РАН рассмотрел и утвердил перечень приоритетных направлений научно-технологического развития для предоставления грантов, по которым Минобрнауки России проведён конкурс крупных научных проектов. Вместе с тем, по мнению ряда членов президиума РАН, вышеуказанное постановление Правительства РФ существенно ограничивает функции РАН по организации и координации крупных научных проектов и научно-методическому руководству научными организациями, подведомственными Минобрнауки России, по сравнению с Программами ФИ.

В соответствии с п. 2 статьи 11 ФЗ № 253 и подпункта “в” пункта 63 её устава Академия наук ежегодно представляет в Правительство РФ подготовленные специально созданной Комиссией РАН и утверждённые общим собранием членов РАН Рекомендации об объёме и видах бюджетных ассигнований по финансированию фундаментальных и поисковых научных исследований на очередной год.

В 2021 г. Минфином России на проведение фундаментальных и поисковых исследований предусмотрено 220.1 млрд руб. (на 22.8 млрд руб. больше, чем в 2020 г.), что составит 0.18% ВВП. Вместе с тем достижение поставленных в Стратегии научно-технологического развития страны целей требует увеличения данного показателя к 2026 г. как минимум до 0.4% ВВП. Комиссия РАН

считает запланированный на 2021 г. объём средств на финансирование фундаментальных исследований недостаточным и рекомендует выделить средства в сумме 301.6 млрд руб., в том числе на финансирование РАН – 7.17 млрд руб., Минобрнауки России (включая академические институты и учреждения высшего образования) – 234.9 млрд, государственных научных фондов – 37.4 млрд, НИЦ, ГНЦ и других научных организаций – 22.1 млрд руб.

## НАУЧНОЕ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

Постановлениями Правительства РФ от 30.12.2018 г. № 1781 и от 24.12.2019 г. № 1793 утверждены Правила осуществления Российской академией наук научного и научно-методического руководства научной и научно-технической деятельностью научных организаций и образовательных организаций высшего образования.

В то же время, по мнению ряда членов президиума РАН, предусмотренные указанными постановлениями меры не позволяют обеспечить должный уровень научно-методического руководства научными организациями, в связи с чем необходима их доработка.

**Реформирование научных организаций. Руководящие кадры.** На постоянном контроле президиума РАН, Комиссии РАН по совершенствованию структуры научных организаций, возглавляемой президентом РАН, находятся вопросы реформирования научных организаций, которое проводится с 2014 г.

В 2019 г. реорганизованы 88 научных учреждений, на их базе созданы 28 профильных научных центров. В стадии реорганизации находятся 57 научных организаций, на их базе предполагается создать 28 исследовательских центров. В связи с реорганизацией Академия наук рассмотрела более 30 проектов изменений и новые редакции уставов, согласованы 118 программ развития научных организаций, подготовлены 25 экспертных заключений о реализации программ их развития (19 – федеральные научные центры или федеральные исследовательские центры – ФНЦ/ФИЦ, 6 – национальные научные и исследовательские центры).

В прошедшем году в 49 научных организациях, подведомственных Минобрнауки России, были объявлены выборы руководителей. По представлению Кадровой комиссии президиум РАН согласовал 133 кандидатуры на должность руководителя и 7 кандидатур на должность научного руководителя, 16 кандидатур не были согласованы. Рассмотрение одной кандидатуры на должность научного руководителя отложено. Из 94 предложенных Минобрнауки России кандидатур на

должности временно исполняющих обязанности руководителей научных организаций президентом РАН согласованы 93. Следует отметить, что в последние годы ухудшился качественный состав руководителей научных организаций. Члены РАН сегодня возглавляют лишь 37% из них (в 2014 г. – 56%), 38.9% – доктора наук, почти каждой четвёртой (22.5%) руководит кандидат наук.

В целях повышения эффективности управления научными организациями, сохранения преемственности и развития научных школ и направлений, передачи опыта и знаний коллективу, реализации долгосрочных программ деятельности научных организаций, расширения их кооперации с предприятиями реального сектора экономики, а также сохранения научных традиций при президиуме РАН образован Научно-координационный совет членов РАН – научных руководителей научных организаций, подведомственных Минобрнауки России и находящихся под научно-методическим руководством РАН, во главе с академиком РАН С.Н. Багаевым. Бюро Совета разработало предложения по наделению научных руководителей научных организаций дополнительными полномочиями. С этой целью Минобрнауки России рекомендовано:

- обеспечить внесение соответствующих дополнений в уставы научных организаций;
- внести в Методические рекомендации по вопросам введения в научных организациях должности научного руководителя научной организации следующие положения:

назначать научного руководителя по представлению РАН;

заключать трудовой договор с научным руководителем, в котором предусматривать решение вопросов его материально-технического обеспечения на уровне занимаемой прежней должности;

предусмотреть в типовых правилах выборов состава учёного совета научной организации вхождение в него по должности (научный руководитель, директор, его заместители по научной работе, научные руководители научных направлений, учёный секретарь, члены РАН, работающие в научной организации, председатель совета молодых учёных) и нормы представительства (научные работники, имеющие учёную степень, должны составлять не менее 75% от числа членов учёного совета).

В ближайшей перспективе предполагается обсудить данные предложения президентом РАН с министром науки и высшего образования РФ.

Президентом РФ В.В. Путиным подписан федеральный закон № 159-ФЗ «О внесении изменений в статьи 5 и 7 Федерального закона «О науке и государственной научно-технической полити-

ке» и статью 51 федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» – в части полномочий президента вуза и научного руководителя научной организации. В соответствии с поручением Президента России от 29 июля 2019 г. № Пр-1496 (подпункт «б» пункта 1) предусматривается наделение их полномочиями по участию в разработке программ и планов развития организаций, в деятельности их коллегиальных органов управления (в том числе по руководству деятельностью учёного (научного, научно-технического) совета). Отдельно выделены полномочия руководителя научного направления по формированию приоритетных направлений и (или) тематики научных исследований в научной организации.

**Экспертная деятельность РАН.** Одним из инструментов научно-методического руководства РАН является её экспертная деятельность. В рамках научно-методического руководства научной и научно-технической деятельностью научных организаций и учреждений высшего образования и экспертизы полученных ими научных и научно-технических результатов была организована работа отделений РАН и аппарата президиума РАН по проведению и подготовке:

- экспертизы проектов программ развития научных организаций, поступивших на рассмотрение в РАН от Минобрнауки России и других ведомств (экспертизе подверглись 118 программ развития научных организаций, подготовлены 25 экспертных заключений о реализации программ развития научных организаций в 2018 г.);

- экспертизы проектов планов научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования и проектов тематик научных исследований, включаемых в проекты планов научных работ (осуществлена экспертиза 1997 тем, поступивших из 10 федеральных органов исполнительной власти, а также из 5 организаций, подведомственных Правительству РФ);

- экспертных заключений в рамках рассмотрения и согласования отчётов о выполнении планов научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования, поступивших в РАН (рассмотрен 7681 отчёт – 7820 объектов экспертизы с учётом междисциплинарного характера некоторых отчётов);

- экспертизы полученных с привлечением ассигнований федерального бюджета научных и (или) научно-технических результатов, включая оценку их содержания, полноты, научной и практической значимости (выполнены 3700 экспертиз, в том числе 2686 по вузам);

- экспертных заключений в рамках мониторинга и оценки результатов деятельности государственных научных организаций независимо от их ведомственной принадлежности (проведена экспертиза по 18 ФОИВам – 1924 ед., из них

1724 объекта экспертизы поступили из Минобрнауки России – 89.6%).

В целях экспертного научного обеспечения деятельности государственных органов и организаций, оказания экспертных услуг в установленном законодательством Российской Федерации порядке Академия наук осуществляла экспертизу научно-технических программ и проектов, включая государственные программы, федеральные целевые и межгосударственные целевые программы, в том числе: проекта «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года» Минэнерго России, постановления Правительства РФ «О внесении изменений в федеральную целевую программу «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 гг.»», «О внесении изменений в федеральную целевую программу «Развитие транспортной системы»», целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» и др.

Проведена экспертиза поступивших в РАН нормативных правовых актов в сфере научной, научно-технической и инновационной деятельности, в том числе предложений по совершенствованию нормативной правовой и методической базы в сфере разработки документов стратегического планирования в области прогнозирования; замечаний и предложений по проекту ФЗ «О научной, научно-технической деятельности в РФ»; предложений по совершенствованию нормативного правового регулирования в сфере развития прикладной науки с целью создания и внедрения новых технологий, а также научно-технических решений и их описаний, в том числе в отношении оценки их мировой новизны и возможностей применения по запросам Федеральной службы по интеллектуальной собственности и Суда по интеллектуальным правам (в 100-процентном объёме). Кроме того, в соответствии с Федеральным законом от 1 марта 2020 г. № 41-ФЗ «О почётном звании Российской Федерации «Город трудовой доблести»» академия начала работу по подготовке экспертных заключений, которые являются обязательными при присвоении этого звания.

#### НАУЧНЫЕ СОВЕТЫ, КОМИТЕТЫ, КОМИССИИ РАН

Важную роль в осуществлении РАН своих функций играют научные, экспертные, координационные советы, комитеты и комиссии академии. В отчётном периоде президиум РАН завершил работу по их оптимизации и актуализации деятельности.

В настоящее время при президиуме РАН функционируют 39 советов, включая научные по приоритетным направлениям и комплексным

проблемам, координационные, межведомственные (по радиохимии с ГК “Росатом”, по научно-обоснованию и сопровождению лекарственной политики с Минздравом России, транснациональному развитию Евразийского континента, исследованиям в области агропромышленного комплекса), межакадемический по проблемам развития Союзного государства, 9 комитетов и 22 комиссии.

Созданы новые советы и комиссии РАН:

- Научный совет РАН по методологии искусственного интеллекта и когнитивных исследований,
- Координационный совет РАН и РАО “Здоровье и образование детей, подростков и молодёжи”,
- Научный совет РАН “Квантовые технологии”,
- Комиссия по модернизации приборной базы научных организаций.

В соответствии с новой функцией Академии наук в декабре 2019 г. создан Научно-координационный совет РАН по проблемам прогнозирования и стратегического планирования в Российской Федерации, деятельность которого посвящена стратегическому планированию в контексте глобальных трансформаций и обеспечения устойчивого развития России, климатическим аспектам развития страны в XXI в.

Кроме того, при президиуме РАН функционируют вновь созданные в отчётном периоде:

рабочая комиссия по подготовке предложений к выборам в Российской академии наук (председатель — академик РАН В.В. Козлов);

рабочая группа при президиуме РАН по разработке предложений по повышению результативности российской науки (председатель — академик РАН А.В. Адрианов);

рабочая комиссия по организации и проведению международных семинаров по актуальным научным направлениям (председатель — академик РАН Ю.Ю. Балеган).

При отделениях РАН действуют 148 советов, комитетов и комиссий.

## СОСТАВ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**Выборы 2019 года.** В ноябре 2019 г. состоялись выборы членов РАН, в которых участвовали 1827 кандидатов: 325 — в академии РАН и 1502 — в члены-корреспонденты РАН, в том числе 180 с ограничением возраста до 56 лет.

Отделениям РАН была предоставлена самостоятельность при принятии решений о количестве вакансий с ограничением возраста, расширении названий специальностей с учётом приоритетных направлений научно-технологического

развития страны, определении порядка и формы выступлений кандидатов и публикаций сведений о них на сайте РАН.

Выборы характеризовались высокой конкурентностью: конкурс составил на одну вакансию академика РАН — 4.3 кандидата на место против 2.6 чел. в 2016 г.; члена-корреспондента РАН — 8.8 против 5.4 соответственно. Особенно высокий конкурс на вакансии академиков РАН был в Отделении химии и наук о материалах РАН (13 человек), свыше 10 человек по отдельным специальностям — в Отделении математических наук РАН, Отделении физических наук РАН, Отделении нанотехнологий и информационных технологий РАН, Отделении энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН и Отделении наук о Земле РАН. Самый высокий показатель кандидатов на вакансии членов-корреспондентов РАН — в Отделении математических наук РАН по специальности “Прикладная математика и информатика” (55 человек на 1 место). В целом по 42 специальностям (40% от числа вакансий) конкурс составил более 10 человек на место.

По итогам тайного голосования на Общем собрании членов РАН были избраны 71 академик РАН, 158 членов-корреспондентов РАН, в том числе 26 в возрасте до 56 лет. Более 60% избранных членов РАН работают в научных организациях, подведомственных Минобрнауки России. В региональных отделениях РАН избрано 55 членов РАН (24% от общего количества), в том числе 53 — на региональные вакансии: ДВО РАН — 2 академика РАН и 9 членов-корреспондентов РАН, СО РАН — 7 академиков РАН и 24 члена-корреспондента РАН, УрО РАН — 4 академика РАН и 9 членов-корреспондентов РАН.

В члены РАН в 2019 г. избрано 30 женщин (4 академика РАН и 26 членов-корреспондентов РАН). После выборов доля женщин в составе РАН увеличилась на 1% и составила 7.8% (159 человек). Средний возраст избранных академиков РАН составляет 64 года (63 года в 2016 г.), членов-корреспондентов РАН — 58.3 года (53 года — в 2016 г.). Почти каждый пятый избранный член-корреспондент РАН (18%) моложе 50 лет, а 31% — в возрасте от 50 до 60 лет. По состоянию на 15 июня 2020 г. численность членов РАН составляет 2003 чел., из них 878 академиков РАН и 1125 членов-корреспондентов РАН, 593 члена академии старше 80 лет (29.3%).

Среди руководства РАН и работников аппарата президиума члены академии составляют 13%, или 42% от численности работников высшей квалификации, доктора и кандидаты наук — 18%, или соответственно 58%.

**Профессора РАН.** Реальным кадровым потенциалом академии является образованный в 2015 г. корпус профессоров РАН. В настоящее время он

насчитывает 606 человек, из них в 2016 г. 103 были избраны членами-корреспондентами РАН, в 2019 г. 36 профессоров РАН стали членами-корреспондентами РАН, академиками РАН стали 3 члена-корреспондента РАН, имеющие звание “Профессор РАН”.

Профессора РАН принимают активное участие в деятельности экспертных советов и рабочих групп по реализации национального проекта “Наука”, выступают в качестве экспертов. По инициативе президиума РАН Координационным советом профессоров РАН проведено исследование “Шесть лет реформы РАН: результаты и перспективы преобразований”, цель которого – выявить мнение научного сообщества об итогах реформы, а также о критериях оценки финансирования фундаментальной науки в России. Почти две трети (64%) респондентов отметили отрицательное влияние реформы на их область исследования и ухудшение положения дел в российской науке за последние 6 лет.

В 2019 г. общее собрание профессоров РАН было посвящено вопросу организации и поддержки науки в России, с участием РАН и РФФИ проведена Всероссийская конференция “Большие вызовы и развитие фундаментальной науки в России”, в ходе которой обсуждались направления деятельности профессоров РАН, их участие в формировании научной политики России и решении задач, стоящих перед академией. В то же время требуется законодательное закрепление статуса “профессор РАН”, соответствующих полномочий, прав и обязанностей в нормативных правовых документах.

**Формирование кадрового потенциала российской науки.** Президиум Российской академии наук уделяет постоянное внимание вопросам подготовки и закрепления научных кадров. В академии действует Совет молодых учёных РАН, среди них ежегодно проводятся конкурсы на соискание медалей с премиями, в том числе совместно с Департаментом образования и науки города Москвы.

В 2019 г. были подведены итоги Конкурса на соискание медалей РАН с премиями для молодых учёных России и студентов высших учебных заведений России. Победителями конкурса 2018 г. стали 54 молодых учёных и 26 студентов. На конкурс было представлено 606 научных работ из большинства регионов и ведомств России. Учреждены новые премии для молодых учёных и студентов по направлениям “Медицина” и “Агропромышленный комплекс”.

Развитие кадрового научного потенциала в сфере исследований и разработок – один из трёх федеральных проектов, входящих в национальный проект “Наука”. Он ориентирован на увели-

чение численности высококвалифицированных исследователей и создание научных лабораторий.

Сейчас по числу исследователей (в эквиваленте полной занятости) – 405.8 тыс. человек – Россия занимает пятое место в мире. Первая четвёрка стран-лидеров насчитывает исследователей: Китай – 1740.4 тыс. человек, США – 1371.3 тыс., Япония – 676.3 тыс., Германия – 419.6 тыс. (ИПРАН РАН, ВШЭ, данные за 2018 г.). Вместе с тем по такому показателю, как количество исследователей на 10000 занятых в экономике – 49 человек, Россия не попадает даже в первую десятку (для сравнения: Израиль – 174 человека, Дания – 155, Швеция – 146, Финляндия – 145, Республика Корея – 144, Франция – 103, Япония – 100, Германия – 95, Великобритания – 90, США – 89, Испания – 68). А ведь именно этот показатель является важнейшей характеристикой научного потенциала страны. По данным Росстата, численность исследователей с 2016 по 2018 г. сократилась на 22.5 тыс. человек, в том числе молодых исследователей в возрасте до 39 лет – на 7.5 тыс. (ИПРАН РАН, Росстат).

К сожалению, не снижается отток интеллектуальных ресурсов. Число ежегодно выезжающих за рубеж специалистов с высшим образованием увеличилось с 14 тыс. в 2012 г. до 69 тыс. в 2018 г., докторов наук – с 40 до 157 чел., кандидатов наук – с 194 до 280 человек соответственно.

Глубокую озабоченность вызывает неудовлетворительная ситуация с притоком молодых кадров в науку в регионах, особенно на Дальнем Востоке. Выделяемое количество бюджетных мест для обучения в аспирантуре недостаточно для подготовки высококвалифицированных научных кадров по приоритетным направлениям развития регионов.

Федеральным проектом “Развитие кадрового потенциала в сфере исследований и разработок” доля молодых исследователей к 2024 г. должна быть увеличена на 25% относительно уровня 2016 г. и составить 50% в общей численности исследователей. Но, как отмечается в заключении Счётной палаты РФ, мероприятия по комплексной социальной поддержке аспирантов, молодых учёных и исследователей национальным проектом “Наука” и госпрограммой “Научно-технологическое развитие Российской Федерации” не предусмотрены<sup>3</sup>.

В поле зрения президиума РАН постоянно находятся вопросы подготовки научных кадров высшей квалификации. После принятия в 2012 г.

<sup>3</sup> Отчёт Счётной палаты РФ о результатах экспертно-аналитического мероприятия “Определение основных причин, сдерживающих научное развитие в Российской Федерации: оценка научной инфраструктуры, достаточность мотивационных мер, обеспечение привлекательности работы ведущих учёных”, февраль 2020 г. (<http://audit.gov.ru/checks/9658>).

Федерального закона № 273-ФЗ “Об образовании в Российской Федерации” в новой редакции резко — с 157.5 тыс. человек до 84.3 тыс. (на 46%) — сократилась численность обучающихся в аспирантуре. Причём если в 2010 г. защитили диссертации 28.5% закончивших аспирантуру, то в 2019 г. — только 10.5% (9611 и 1629 человек соответственно). По мнению членов президиума РАН, назрела необходимость внесения поправок в Федеральный закон “Об образовании в Российской Федерации” с целью модернизации института аспирантуры, устранения бюрократизма при аккредитации её программ, внедрения целевой подготовки научных кадров высшей квалификации для научно-образовательного комплекса<sup>4</sup>. РАН считает, что аспирантура должна основываться на научной работе, а образовательная составляющая программ должна присутствовать в том объёме и тех формах, которые способствуют успешной исследовательской деятельности аспиранта, ведущей к защите диссертации.

В настоящее время Правительством РФ внесён в Государственную думу законопроект “О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)”, который прошёл первое чтение. Предлагается вместо образовательных стандартов по направлениям подготовки кадров высшей квалификации в аспирантуре установить требования по программам аспирантуры и отменить по ним государственную аккредитацию образовательной деятельности. Предполагается утвердить на уровне Правительства России порядок сопровождения лиц, успешно прошедших итоговую аттестацию в аспирантуре (адъюнктуре), при представлении ими к защите диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, а также порядок осуществления контроля за подготовкой научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре). Основной целью обучения в аспирантуре (адъюнктуре) должна стать обязательная подготовка диссертации на соискание учёной степени кандидата наук.

28 марта 2020 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин утвердил перечень поручений (Пр-589)<sup>5</sup> по итогам совместного расширенного заседания президиума Государственного совета и Совета при Президенте по науке и образованию, состоявшегося 6 февраля 2020 г. Правительству РФ поручено “обеспечить поэтапное увеличение квоты приёма на целевое обучение по образова-

тельным программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), предусмотрев для аспирантов обязательство по проведению научного исследования и представлению диссертации к защите в установленные сроки получения образования, а для заказчиков целевого обучения — обязательство по трудоустройству аспиранта в научной организации или образовательной организации высшего образования (в том числе в период обучения) и оказанию ему мер поддержки”.

С целью ранней профессиональной ориентации школьников, имеющих склонность к научной деятельности, академия в 2019 г. продолжила работу по созданию опорных школ под эгидой РАН. В проекте принимают участие 108 школ из 32 субъектов Российской Федерации, в которых обучается более 30 тыс. учащихся. Образованная при президиуме РАН Комиссия по научно-организационной поддержке базовых школ предложила несколько моделей таких школ, включая профильную школу, школу с углублённым изучением отдельных предметов, школу-лабораторию и др. В регионах проводится консультирование, оказывается помощь в подготовке (коррекции) программ развития и образовательных программ. В этой работе участвуют члены РАН и работники научных и образовательных организаций, многим школьникам предоставляется возможность выполнять проекты и исследования в научных лабораториях. В феврале 2020 г. президиумом РАН с участием Минпросвещения России и Российской академии образования проведён круглый стол, посвящённый поддержке учащихся базовых школ РАН (победителей конкурсов и олимпиад естественно-научной направленности) и их научных исследований.

В марте 2020 г. с участием представителей Российской академии наук состоялось расширенное заседание комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре, на котором рассматривался вопрос подготовки научных кадров и поддержки учёных, в том числе молодых. Председатель Совета Федерации В.И. Матвиенко поддержала предложения РАН о проведении парламентских слушаний о роли научных кадров в развитии страны и регионов, об основных проблемах в сфере подготовки научных кадров.

## МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Академия осуществляет международное сотрудничество с научными организациями более чем из 80 стран, с которыми заключено свыше 300 соглашений. За отчётный период подписаны соглашения о сотрудничестве с Азербайджанской, Монгольской академиями наук, Национальной академией наук Беларуси, Дорожная карта сотрудничества в области науки, научных

<sup>4</sup> С 1 сентября 2013 г. в соответствии с Федеральным законом “Об образовании в Российской Федерации” образовательные программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) были отнесены к уровню высшего образования — подготовка кадров высшей квалификации.

<sup>5</sup> <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/63083>

исследований и инноваций между Российской академией наук и Китайской академией наук, Меморандум о взаимопонимании между Российской академией наук и Национальным институтом сельскохозяйственных технологий Аргентинской Республики. Члены академии приняли участие в более чем 70 международных мероприятиях в рамках научно-информационного сотрудничества с академиями наук и научно-исследовательскими организациями иностранных государств.

В академии получает развитие новая форма международного научного сотрудничества – проведение так называемых “мозговых штурмов”. Прошло пять встреч российских и иностранных учёных на базе гостиничного комплекса РАН “Узкое”:

- “Перспективы исследований глобальной структуры гелиосферы. Открытые вопросы будущей космической миссии”;
- “Перспективы внедрения новых методов преподавания истории в школе”;
- “Высокоэнергетические процессы космических объектов. Фундаментальная физика и новые технологии детектирования”;
- “Исследование эволюции арктической системы литосфера–гидросфера–криосфера–атмосфера в условиях современных изменений климата: фундаментальные вызовы XXI века”;
- “Технологии медико-биологического обеспечения межпланетных полётов: экспертиза текущего состояния и научно-методическое обоснование развития”.

Вопросы международного сотрудничества неоднократно обсуждались на заседаниях президиума РАН. В ноябре 2019 г. с докладом о развитии российско-французского научно-технического сотрудничества (в области археологии, искусственного интеллекта, математики) выступила Почётный постоянный секретарь Французской академии наук, посол Французской Республики по особым поручениям в области науки, технологий и инноваций Катрин Брешиньяк.

При активном участии членов РАН были подготовлены и проведены:

- Международная научно-практическая конференция “Система наука–технологии–инновации: методология, опыт, перспективы” (г. Минск, Республика Беларусь);
- Международная научно-практическая конференция “Наукоёмкая экономика: инновации, цифровизация и приоритеты социальной политики” (г. Алма-Ата, Республика Казахстан);
- Международный геополитический конгресс “Глобальная безопасность и научно-технологический прогресс” (г. Москва).

Продолжалось взаимодействие с иностранными членами РАН. Общим собранием членов РАН 14 ноября 2019 г. иностранными членами РАН были избраны 44 иностранных учёных по 36 специальностям, их общая численность составляет 472 человека, они представляют 55 стран. Трёх известным иностранным учёным присуждена учёная степень доктора honoris causa.

Вместе с тем отмечается, что с учётом новых задач и функций РАН необходима более чёткая и понятная стратегия международного научного и научно-технического сотрудничества, требует совершенствования порядок избрания и взаимодействия с иностранными членами РАН.

## НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ ДОСТИЖЕНИЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

**Научно-издательская деятельность.** Российская академия наук – крупнейший издатель научной периодики. РАН является учредителем (или одним из соучредителей) 167 журналов, издаёт в печатном или электронном виде 140 журналов, 103 журнала переводятся на английский язык. В печатном и электронном виде в 2019 г. издано 1064 номера научных журналов РАН и 44 монографии, сборника и иных изданий, в которых опубликованы результаты научных исследований, проводимых российскими учёными.

На платформе Web of Science в трёх основных базах данных (индексах) в настоящее время размещаются всего 165 российских журналов, из них 125 журналов РАН (как правило, англоязычные версии): 119 журналов входят в Science Citation Index Expanded (SCI-E) и Social Sciences Citation Index (SSCI); 6 журналов – в Arts & Humanities Citation Index (A&HCI). В Scopus индексируются 120 журналов РАН, в том числе 19 изданий в оригинальной русскоязычной версии (на английском языке представлены только метаданные к публикациям). Национальный индекс научного цитирования (RSCI), или “русская полка” журналов, включает 792 российских научных журнала (организацию содержательной экспертизы с принятием итогового решения по включению изданий в RSCI или исключению изданий из RSCI осуществляет Рабочая группа по оценке качества и отбору научных периодических изданий в Russian Science Citation Index, образованная распоряжением президиума РАН от 18.10.2016 № 10005-730).

В течение 2019 г. президиумом РАН были согласованы 17 кандидатур главных редакторов академических научных журналов с последующим их утверждением президентом РАН. Президиум РАН принял решение по истечении пятилетнего срока полномочий главного редактора научного журнала РАН заслушивать на заседании бюро от-

деления РАН, соответствующего научному направлению журнала, его отчёт и программу развития журнала.

Академия активно работает в области продвижения российских научных журналов, повышения их качества, престижа, востребованности среди отечественных учёных и присутствия на международных площадках.

**Популяризация науки.** Важнейшим направлением деятельности РАН остаётся пропаганда научных знаний и популяризация достижений российской науки. За прошедший период членами академии проведено более 300 открытых лекций и семинаров, с их участием прошли мероприятия по популяризации научных знаний, пропаганде достижений науки и техники в рамках крупнейших форумов “Технопром 2019”, экономический форум “Россия–Африка”, “Восточный экономический форум 2019”, “Московский академический экономический форум” (МАЭФ 2019). Проведён Всероссийский научный фестиваль “НАУКА 0+” – крупнейший просветительский проект в области популяризации науки, который проходит ежегодно с сентября по ноябрь на более чем 400 площадках в 80 регионах страны.

В течение 2019 г. Академией наук проведена серия конференций, выставок, конкурсов в рамках Международного года Периодической таблицы химических элементов, объявленного ООН.

В рамках лекционного проекта “Профессора РАН – школам”, который охватил около 27 регионов страны (37 городов), прочитано более 150 лекций. В масштабном мероприятии приняли участие 47 профессоров РАН, которые прочитали лекции для обучающихся и педагогов 70 базовых школ РАН по актуальным вопросам науки (химия, физика, материалы и конструкции, математические вычисления, языковедение, биологическое разнообразие, нанотехнологии, робототехника и искусственный интеллект, фармакология, год Периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева, зелёные технологии и др.).

Три лучшие работы по популяризации науки отмечены премиями РАН.

#### ПОДГОТОВКА К 300-летию РАН

Во исполнение Указа Президента РФ от 6 мая 2018 г. № 197 “О праздновании 300-летия Российской академии наук” в 2019 г. продолжилась подготовка к юбилейным торжествам. Состоялось несколько совещаний в РАН и Минобрнауки России по подготовке плана мероприятий с участием представителей заинтересованных федеральных органов исполнительной власти и орга-

низаций. Проект плана предполагает пять основных направлений работы.

1. Организационные мероприятия, в том числе торжественные собрания, учреждение памятной медали “300 лет Российской академии наук”, издание памятных монет, книг и буклетов.

2. Научно-образовательные, культурно-просветительские, информационные мероприятия, включая проведение международного научного форума “Наука – обществу и миру” и создание цикла юбилейных научно-популярных фильмов.

3. Ремонтно-восстановительные работы объектов РАН.

4. Модернизация и техническое переоснащение гостинично-представительского комплекса Академии наук.

5. Демонстрация достижений сектора научных исследований и разработок.

В ноябре 2019 г. на заседании президиума РАН, посвящённом вопросам подготовки к 300-летию академии, образован организационный комитет РАН по подготовке и проведению празднования 300-летия Российской академии наук во главе с президентом РАН А.М. Сергеевым, отмечены памятные даты, связанные с президентами Академии наук СССР (150-летие со дня рождения академика В.Л. Комарова и 120-летие со дня рождения академика А.Н. Несмеянова), организована тематическая выставка документов и фотографий.

18 марта текущего года состоялось специальное заседание президиума РАН, посвящённое 90-летию со дня рождения лауреата Нобелевской премии по физике академика РАН Ж.И. Алфёрова.

#### НАГРАДЫ

**Государственные награды.** За отчётный период 67 академиков РАН и 35 членов-корреспондентов РАН удостоены высоких государственных наград, почётных званий и премий.

Указами Президента РФ за заслуги перед государством, многолетнюю плодотворную деятельность и большой вклад в развитие науки звания Герой Труда Российской Федерации удостоен академик РАН Е.П. Велихов. 14 членов РАН награждены орденами “За заслуги перед Отечеством”: I степени – академик РАН В.П. Савиных – полный кавалер ордена, II степени – академики РАН М.Б. Пиотровский, Е.П. Чельшев, член-корреспондент РАН А.Н. Чилингаров, III степени – академики РАН П.В. Глыбочко, И.А. Новаков, Е.Н. Седов, В.И. Стародубов, В.Ю. Хомич, В.А. Чантурия, В.И. Чиссов, А.Г. Чучалин, IV степени – академики РАН В.И. Осипов и Е.И. Чазов, медалью ордена “За заслуги перед Отечеством” I степени – член-корреспондент РАН

Е.В. Скларов, II степени – академики РАН М.И. Воевода и Б.М. Кизяев, члены-корреспонденты РАН С.И. Кабанихин и Д.Ю. Логунов.

10 членов РАН удостоены ордена Александра Невского: академики РАН С.Н. Волков, М.А. Грачёв, Л.А. Большой, Ю.А. Золотов, В.В. Калашников, В.В. Козлов, Л.И. Колесникова, А.Н. Лагарков, М.А. Островский, А.М. Черепашук. 9 членов РАН награждены орденом Почёта: академики РАН Л.А. Беспалова, С.В. Готье, А.Л. Иванов, А.С. Овчинников, С.К. Терновой, члены-корреспонденты РАН А.А. Свистунов, Е.И. Сидоренко, В.Г. Систер, Б.Д. Цыганков. Орденом Дружбы – академик РАН А.Л. Гинцбург и член-корреспондент РАН В.Е. Радзинский.

4 члена академии награждены Почётной грамотой Президента Российской Федерации: академики РАН П.А. Минакир, В.В. Окрепилов, О.Н. Чупахин, член-корреспондент РАН Титов А.Ф.; член-корреспондент РАН Е.Л. Березович – Благодарностью Президента Российской Федерации. Знаком отличия “За наставничество” – академик РАН В.В. Малеев, Почётной грамотой Правительства РФ – академик РАН В.И. Кашин и член-корреспондент РАН Г.К. Сафаралиев, Благодарностью Правительства РФ – академик РАН Н.П. Алёшин. Медалью П.А. Столыпина I степени награждён академик РАН Е.И. Чазов.

Указом Президента РФ от 21 июня 2020 г. № 407 за большой вклад в борьбу с коронавирусной инфекцией (COVID-19), самоотверженность и высокий профессионализм, проявленные при исполнении врачебного долга, ордена Пирогова удостоены: академики РАН С.Ф. Багненко, В.М. Говорун, А.Д. Каприн, Ю.С. Полушин, А.Ш. Ревившвили, Г.Т. Сухих, члены-корреспонденты РАН С.Н. Авдеев, О.И. Аполихин, Н.А. Дайхес, Г.Г. Кармазановский, А.О. Конради, С.С. Петриков, А.С. Самойлов, В.В. Фомин, Е.А. Трошина, А.В. Шабунин.

Присвоены звания: “Заслуженный деятель науки РФ” – академику РАН Т.Я. Хабриевой, членам-корреспондентам РАН В.Н. Анисимову, Н.А. Дайхесу, В.Б. Супяну, И.Н. Тюренкову; “Заслуженный землестроитель РФ” – академику РАН Н.В. Комову; “Заслуженный работник дипломатической службы РФ” – академику РАН А.В. Торкунову; “Заслуженный врач РФ” – членам-корреспондентам РАН О.И. Аполихину, О.М. Драпкиной, Н.В. Загороднему.

Лауреатами Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий 2019 г. стали академики РАН Д.М. Маркович, В.В. Наумкин, В.А. Порханов, М.Р. Предтеченский, В.И. Пустовойт, Е.А. Хазанов, В.П. Харченко, члены-корреспонденты РАН А.В. Головнёв и В.Д. Паршин, лауреатами премии Правительства Российской Федерации 2019 г. в области науки –

академики РАН С.Н. Багаев, В.И. Бухтияров, Л.А. Вайсберг, Р.Ф. Ганиев, М.И. Гулюкин, В.И. Дорожкин, С.В. Енгашев, Л.И. Леонтьев, Ю.Н. Малышев, Р.И. Нигматулин, А.А. Потапов, А.А. Стекольников, члены-корреспонденты РАН Р.Р. Мулюков, В.В. Сочнев, И.Е. Фролов, А.Н. Чилингаров.

**Награды РАН.** Решениями президиума РАН большая группа учёных за научные и научно-технические достижения была удостоена золотых медалей и премий имени выдающихся учёных:

- Большая золотая медаль Российской академии наук имени М.В. Ломоносова 2019 г. присуждена академику РАН Г.С. Голицыну за выдающийся вклад в изучение физики атмосферы Земли и планет и разработку теории климата и его изменений и иностранному члену РАН, профессору П.Й. Крутцену (Нидерланды) за выдающийся вклад в химию атмосферы и оценку роли биогеохимических циклов в формировании климата;

- Большая золотая медаль имени Н.И. Пирогова 2019 г. присуждена академику РАН А.Г. Баиндурашвили и профессору Ф. Грилю (Австрия) за фундаментальные и прикладные исследования в области детской травматологии и ортопедии;

- золотая медаль имени А.А. Полякова – академику РАН В.И. Дорожкину за серию работ по созданию эффективных и безопасных лекарственных средств для лечения и профилактики заболеваний животных;

- золотая медаль имени П.Л. Капицы – академику РАН В.В. Дмитриеву за открытие новых сверхтекучих фаз и топологических состояний жидкого  $^3\text{He}$ ;

- золотая медаль имени И.М. Сеченова – академику РАН М.В. Угрюмову за цикл работ “Исследование роли мозга в нервной и нейроэндокринной регуляциях в онтогенезе и при нейродегенеративных заболеваниях”;

- золотая медаль имени А.Л. Мясникова – академику РАН Е.З. Голуховой за совокупность исследований по разработке и внедрению новых методов диагностики и лечения сочетанной кардиальной патологии;

- золотая медаль имени Н.Н. Боголюбова – академику РАН В.Е. Захарову за достижения мирового уровня и пионерские работы по гамма-теории волн в гидродинамике со свободной поверхностью;

- золотая медаль имени В.А. Энгельгардта – академику РАН А.А. Макарову за цикл работ “Молекулярные механизмы церебрального амилоидогенеза как новая платформа для диагностики и терапии болезни Альцгеймера”;

- золотая медаль имени Д.К. Чернова – академику РАН Ю.В. Цветкову за совокупность работ

“Плазменные процессы в металлургии и обработке материалов”;

- золотая медаль имени В.И. Даля – д.ф.н. В.М. Мокиенко (Санкт-Петербургский государственный университет) за цикл “больших” словарей русской фразеологии – поговорок, сравнений, пословиц: “Большой словарь русских поговорок”, “Большой словарь русских народных сравнений”, “Большой словарь русских пословиц”;

- золотая медаль имени Д.В. Скобельцына – д.ф.-м.н. А.М. Гальперу (Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”) за выдающийся вклад в развитие космических методов исследований в области астрофизики космических лучей и гамма-астрономии.

47 учёным, в том числе 17 членам РАН, присуждена 31 премия имени выдающихся учёных 2019 г. Президиумом РАН учреждены 2 золотые медали в области физических наук: имени Г.И. Будкера, присуждаемая российским и зарубежным исследователям за выдающиеся работы в области физики ускорителей, и имени Л.В. Келдыша, присуждаемая российским учёным за выдающиеся работы в области физики конденсированного состояния.

Звание “Почётный профессор Российской академии наук” присвоено директору ФГУП “Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики” доктору технических наук Герою России В.Е. Костюкову. 594 человека награждены Почётными грамотами РАН.

**Другие награды.** Лауреатами общенациональной неправительственной Демидовской премии 2019 г. стали академик РАН Ю.Ц. Оганесян за выдающийся вклад в открытие новых химических элементов, академик РАН В.В. Рожнов за выдающийся вклад в сохранение и восстановление биоразнообразия животного мира, включая особо редкие виды фауны, академик РАН А.А. Чибилёв за выдающийся вклад в изучение степей Евразии и разработку теории и практики охраны природы России.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2019 г. президиум РАН выполнил основные показатели государственного задания, последовательно работал над реализацией новых задач и расширенных функций, определённых законодательством и уставом РАН, поручений Президента Российской Федерации. За последние годы заметно повысился общественный престиж РАН, становятся более востребованными результаты научных исследований российских учёных.

В то же время остаются важнейшие вопросы, которые требуют системного и неотложного решения. Это в первую очередь усиление отечественной науки финансовыми, материальными, интеллектуальными и организационными ресурсами, обновление приборной базы, создание условий для эффективной работы учёных, комплексная социальная поддержка исследователей, особенно молодых.

События последних месяцев, стремительное распространение коронавирусной инфекции COVID-19, сползание мировой экономики в очередной глобальный кризис диктуют настоятельную необходимость опережающего научного и технологического развития страны, разворота к инновационной экономике, экономике знаний и технологий, повышения роли и ответственности научного сообщества, его консолидации в противостоянии возникающим угрозам. Предвидеть и парировать глобальные вызовы, с которыми сталкивается человечество, – ухудшение окружающей среды, изменение климата, эпидемии, безопасность энергетики и другие – способна только работающая на опережение наука.

Писатель-фронтовик Даниил Гранин, всемерно поддерживавший и пропагандировавший науку, активно выступавший за её популяризацию, подчёркивал: “Учёные – это народ бескорыстный, поглощённый работой, устремлённый в будущее. Они живут впереди нас, потому что хотят что-то создать ещё небывалое, то, что мы не знаем”. И с этим нельзя не согласиться.

ДОКЛАДЫ ЛАУРЕАТОВ БОЛЬШОЙ ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА РАН 2019 ГОДА

ПУТЬ В НАУКЕ ОБ ОКРУЖАЮЩЕМ МИРЕ

© 2021 г. Г. С. Голицын

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

*E-mail: gsg@ifaran.ru*

Поступил в редакцию 07.07.2020 г.

После доработки 07.10.2020 г.

Принят к публикации 26.10.2020 г.

Автор доклада описывает многолетние работы, в которых на основе физико-математического подхода удалось найти объяснение ряда эмпирических и вновь открытых законов природных явлений и процессов, в частности, энергетического спектра космических лучей, закона Гутенберга–Рихтера для землетрясений, других кумулятивных распределений, законов турбулентной диффузии загрязнений на водной поверхности. В докладе описывается также история предсказания глобальных последствий гипотетической ядерной войны, использования при этом аналогии с глобальными пыльными бурями на Марсе. Упоминаются работы по физическим основам изменений земного климата, особенно по взаимодействию облачности и радиации, впервые в полном масштабе начатые в Институте физики атмосферы АН СССР в середине 1980-х годов. В конце 2017 г. автором было замечено, что работы, выполненные выдающимся отечественным математиком А.Н. Колмогоровым в 1934 г., позволяют впервые объяснить многие природные процессы и явления: спектры и особенности морских ветровых волн, громадную энергию ураганов, спиральные вихри на поверхности морей и океанов, особенности рельефа небесных тел и др.

*Ключевые слова:* турбулентные среды, теория землетрясений, теория ураганов, распространение волн, “ядерная зима”, спектр космических лучей, закон Колмогорова–Обухова.

DOI: 10.31857/S0869587321010047

С 1 февраля 1958 г. и по сей день моя трудовая книжка неизменно находится в отделе кадров Института физики атмосферы РАН (с 1995 г. носит имя его основателя и первого директора академика Александра Михайловича Обухова). За долгую научную жизнь (моя первая научная статья, написанная в соавторстве с К.П. Станюковичем, была опубликована в 1957 г. в “Журнале экспериментальной и теоретической физики” [1], и специалисты её помнят до сих пор) мне довелось заниматься многими предметами: вопросами

магнитной гидродинамики, распространением различных волн в турбулентных средах, планетными атмосферами, конвекцией в разнообразных, в том числе вращающихся, средах, спектром космических лучей, теорией землетрясений, теорией морских ветровых волн и их ролью в распространении загрязнений на водной поверхности, теорией ураганов, объяснением экспериментальных результатов изучения статистической структуры рельефа планетных поверхностей, наконец, постановкой и руководством природными экспериментами, в том числе международными. Однако пора перейти к описанию основных научных результатов.



ГОЛИЦЫН Георгий Сергеевич – академик РАН, заведующий отделом динамики атмосферы ИФА им. А.М. Обухова РАН, советник РАН.

**Атмосферы планет: модели и реальность.** Большая часть этих результатов описана в монографии 2012 г. [2], подготовленной на основе лекций в МГУ им. М.В. Ломоносова и МФТИ. Первый из них – теория подобия для планетных атмосфер [3], предложенная в 1969 г., когда ещё не существовало глобальных численных моделей циркуляции земной атмосферы. Путём анализа уравнений динамики с учётом расстояния до Солнца, размера и скорости вращения планеты, состава её

атмосферы были найдены параметры подобия, определяющие режим циркуляции для планет земной группы, оценены скорости ветра и разности температур, его вызывающие.

В 1960-х годах СССР и США приступили к реализации космических программ исследования ближайших к Земле планет – Венеры (с 1961 по 1983 г. в Советском Союзе были осуществлены запуски 16 автоматических межпланетных станций серии “Венера”) и Марса. Уже к концу 1960-х годов удалось выяснить, что атмосфера на Венере примерно в 100 раз плотнее земной. Предсказанные в работе [3] ветры у поверхности (их расчётная скорость около 1 м/с) и разности дневных и ночных температур (порядка 1 К) были подтверждены последующими исследованиями. В этой связи приведу такой факт. В 1969 г. на международной астрономической конференции, проходившей в Техасе, я изложил в своём докладе предполагаемые характеристики атмосферы Венеры, в частности указал на малый контраст дневных и ночных температур. В тот же день на конференции был зачитан доклад американских учёных, в котором сообщалось о данных измерений перепада ночных и дневных температур у поверхности Венеры, буквально накануне полученных американскими астрономами: контраст температур оказался менее 10 К.

По предложению тогдашнего президента АН СССР и председателя межведомственного совета по космосу академика М.В. Келдыша директор нашего института А.М. Обухов (тогда член-корреспондент АН СССР) принимал участие в обработке данных измерений, полученных с помощью автоматической межпланетной станции “Венера-4”, выполнившей 18 октября 1967 г. благополучную посадку на поверхность Венеры и производившей в течение 1.5 ч комплекс измерений в её атмосфере. В частности, были проведены измерения газового состава, температуры, давления и плотности. Александр Михайлович заметил, что, зная коэффициент сопротивления парашюта, на котором достиг поверхности планеты спускаемый аппарат, можно согласовать временные изменения измеряемых параметров. Такая работа была проведена. Итогом исследования стала статья [4]. В ней также содержалась оценка нижней границы и толщины облачного слоя на Венере – при наличии данных о температуре и процентной концентрации водяного пара.

Эти результаты в течение полутора десятилетий входили в технические задания на полёты наших станций “Венера”. Данные о скорости ветров на Венере и Марсе использовались в ОКБ им. С.А. Лавочкина при проектировании посадочных модулей советских автоматических межпланетных станций серий “Венера” и “Марс”. В 1973 г. вышла моя монография [5]. Переведён-

ная на английский язык она использовалась американским Национальным агентством по аэронавтике и исследованию космического пространства в качестве рабочего документа.

Идейным руководителем ряда космических программ США по изучению планет был астроном, астрофизик и одновременно популяризатор науки Карл Саган, с которым у меня установились тесные дружеские отношения. Тогда ещё не было Интернета, и он время от времени посылал мне телеграммы с просьбами высказать своё мнение по тем или иным научным вопросам. В ноябре 1971 г. на орбиту Марса вышли две автоматические межпланетные станции – советская “Марс-3” и американская “Маринер-9”. Передаваемая ими информация позволила оценить масштабы глобальной пыльной бури, бушевавшей в те недели на планете (буря закончилась только в феврале 1972 г.). Судя по полученным снимкам, облако пыли не достигало лишь вершин трёх самых высоких марсианских гор – древних вулканов. При этом было установлено, что температура на поверхности планеты ниже температуры облаков пыли. Саган попросил меня оценить это явление [6]. Я дал своё объяснение причин образования пыльных бурь и разрастания их до глобальных масштабов. Моя идея состояла в том, что это саморазвивающийся конвективный процесс на вращающейся планете. Спустя три десятилетия я использовал эту же идею для объяснения происхождения земных ураганов и других интенсивных вихрей [2, 7].

Аппаратура американских орбитальных аппаратов позволила измерить температуру и состав пылевых облаков. Пыль оказалась микронного размера, то есть она хорошо задерживала солнечное излучение, но свободно пропускала длинноволновое тепловое излучение марсианской поверхности, которая во время бури значительно охлаждалась. Это типичные проявления антипарникового эффекта: нижний слой атмосферы очень устойчив, что препятствует образованию циклонов и осадению пыли. Простая аналитическая модель такого явления была предложена моим коллегой, сотрудником Института физики атмосферы А.С. Гинзбургом в 1972 г. (позднее доктором физико-математических наук) [8].

**“Ядерная зима”.** В начале 1980-х годов значительно усилилась международная напряжённость, возросла угроза войны с применением ядерного оружия. Учёные раньше политиков начали информировать мировую общественность о её катастрофичности. В апреле 1982 г. на стокгольмской международной конференции по оценке последствий крупномасштабного ядерного конфликта будущий лауреат Нобелевской премии по химии П. Крутцен [9] и Дж. Биркс представили доклад с оценкой массы дыма и пыли от

взрывов и пожаров, говорящей о возможности такого замутнения атмосферы, что полдень может превратиться в сумерки [10]. (О наших совместных с Паулем Крутценом работах я упомяну ниже.)

В мае 1983 г. в Москве проходила Всесоюзная конференция учёных за избавление человечества от угрозы ядерной войны, за разоружение и мир. На ней я представил доклад (он зачитывался и от имени академика А.М. Обухова) о климатических последствиях ядерной войны, используя в нём в качестве природного аналога марсианскую глобальную пыльную бурю [6–8, 11]. В докладе говорилось о последствиях резкого сокращения количества озона в атмосфере, её задымлении вследствие пожаров и нагреве вследствие поглощения солнечной радиации, похолодании земной поверхности из-за недостатка радиации; уменьшении испарения, следовательно и осадков, изменении режима циркуляции и т.д. Подробное изложение этих результатов было опубликовано в сентябрьском номере журнала “Вестник АН СССР” за 1983 г. [12]. Статья Р.П. Турко, О.Б. Туна, Т.Р. Аккермана, Дж. Б. Поллака и К. Сагана, в которой обсуждалась та же проблема и был введён термин “ядерная зима”, вышла в журнале “Science” позднее, в декабре 1983 г. [13]. Близкое по времени появление двух этих публикаций – свидетельство того, что проблема вероятных последствий ядерной войны рассматривалась параллельно советскими и американскими учёными. Неслучайно, когда в Вашингтоне в октябре того же года К. Саган представил свою с коллегами работу, в которой за основу была взята радиационно-конвективная модель, туда же были приглашены член-корреспондент АН СССР Н.Н. Моисеев (академик с 1984 г.) и сотрудник Вычислительного центра АН СССР кандидат физико-математических наук В.В. Александров, основывавшие расчёты климатических последствий ядерной катастрофы на двуслойной численной модели атмосферы. С середины 1980-х годов несколько исследовательских групп в США стали использовать полномасштабные многослойные модели изменений климата для более реалистичного воспроизведения деталей последствий ядерной войны.

В Институте физики атмосферы мы провели серию лабораторных экспериментов, позволивших установить чёткую корреляцию плотности дыма и температуры поверхности. А в Таджикистане собрали сведения об изменении температурного режима до пыльных бурь, во время их прохождения и после. Выяснилось, что пыльная буря ведёт к понижению температуры поверхности хотя бы на пару градусов. Мы начали более широкие исследования, изучили поглощение различными дымами, а также пылью солнечной радиации и теплового излучения поверхности

Земли и нижних слоев атмосферы. В 1984–1990 гг. усилиями ряда организаций (наш институт активно сотрудничал с Научно-исследовательским физико-химическим институтом им. Л.Я. Карпова и Всесоюзным научно-исследовательским институтом гражданской обороны) была проведена большая серия экспериментов по количественному изучению выхода дыма при различных режимах горения самых разнообразных материалов, в том числе нефти и угля различных сортов, и даже так называемых городских смесей, то есть всего того, что способно гореть при масштабных пожарах в городах, по определению оптических и микрофизических характеристик дымовых частиц, измерению поглощения и рассеяния на них солнечного и теплового излучения в диапазоне 0.3–20 мк. Эти результаты изложены в монографии, переведённой на английский и японский языки [14]. Отмечу, что интерес к этим работам проявлялся и за рубежом, о чём говорит тот факт, что в особенно трудные для нашей науки 1990-е годы Институт физики атмосферы, где я на протяжении 19 лет, с начала 1990 по конец 2008 г., был директором, получал на проведение экспериментов гранты Министерства энергетики США.

С 1982 г. я входил в международный комитет, координировавший работы по исследованию климата Земли. Мне поручили изучение взаимосвязи “ядерной зимы” и климата. Двенадцать учёных разных стран объединились в группу при ООН, которая начала обобщать все известные данные. Я представлял в ней Советский Союз. Свои отчёты мы посылали во Всемирную метеорологическую организацию и в ООН. Итогом нашей работы стал доклад “Климатические и другие последствия крупномасштабного ядерного конфликта”. В 1988 г. была принята специальная резолюция 44-й Генеральной ассамблеи ООН о катастрофических последствиях ядерной войны, её недопустимости. В последние годы в США, да и в других странах слышны голоса тех, кто считает возможным локальное применение ядерного оружия. При этом они не говорят о тяжелейших последствиях такого применения не только для населения, но и природной среды планеты.

**Грани международного сотрудничества.** В 1967 и 1974 гг. в пригороде Стокгольма прошли международные исследовательские конференции учёных, первая из которых была посвящена улучшению глобального прогноза погоды, вторая – климату и его изменениям. На каждой из них присутствовало около 50 экспертов, призванных сформулировать, что требуется для прогресса в этих областях знаний. Советские делегации возглавлял директор Института океанологии АН СССР А.С. Монин (позднее академик РАН). Участие в этих конференциях позволило мне познакомиться с ведущими учёными мира, чётче представить пути развития науки о климате. Между-

народный совет научных союзов (наша академия — его член) и Всемирная метеорологическая организация образовали Научный комитет, организующий исследовательскую деятельность в этой области знания. В 1977—1981 гг. в состав комитета от нашей страны входили академики А.М. Обухов, директор ИФА, и Е.К. Фёдоров, начальник Гидрометеорологической службы СССР. В 1982—1987 и 1992—1997 гг. членом Научного комитета от АН СССР, а затем РАН довелось быть мне. Комитет ставил своей целью разработку и руководство Всемирной программой исследований климата, предполагающих углубление понимания определяющих его процессов, установления роли человека в его изменениях. В заседаниях участвовали ведущие учёные в области изучения атмосферы и океана. Вспоминаю, как на заседании комитета в 1992 г. ко мне подошёл директор Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды и с благодарностью сказал, что его сотрудники внедрили в оперативную модель предложенную мной схему теплообмена между океаном и атмосферой при слабых ветрах, что заметно улучшило глобальный прогноз погоды [2]. Вероятно, это наилучшая похвала моей научной деятельности, полезности её для практики, что я осознал лишь недавно.

В 1980-х годах одной из основных проблем теории климата стало выяснение роли облачности и аэрозолей в процессах переноса солнечной и тепловой радиации. С этой целью в ИФА началась реализация первых в мире комплексных проектов с участием ряда институтов Академии наук СССР и Гидрометеорологической службы (конкретное руководство этими проектами осуществляла ведущий научный сотрудник ИФА доктор физико-математических наук Е.М. Фейгельсон). По результатам исследований 1985—1987 гг. был выпущен сборник трудов, переведённый в 1988 г. сотрудниками Университета штата Колорадо на английский язык. В 1990-х годах Министерство энергетики США, озабоченное изменениями климата, инициировало программу Atmospheric Radiation Measurements (ARM), по своему содержанию сходную с нашей, но гораздо более полную и обширную. С 1994 по 2004 г. ИФА РАН, а с конца 1990-х и Институт оптики атмосферы СО РАН участвовали в этой программе, правда, с очень скромным по американским меркам финансированием до 100 тыс. долл. в год, но всё-таки позволявшем удерживать группу порядка 10—15 человек для производства измерений, оформления результатов и для поездок в США нескольких научных сотрудников на ежегодные конференции ARM. Эти гранты, а впоследствии и гранты Международного научно-технического центра позволили в трудные годы продолжить важные исследования и в целом сохранить основной научный состав института.

Конечно, международное научное сотрудничество предполагает и личное знакомство с иностранными учёными — оно не только обогащает новыми знаниями, но и нередко даёт импульс новым исследованиям. В этой связи расскажу о тесных научных контактах с нобелевским лауреатом Паулем Крутценом — у нас с ним 6 совместных статей. Мы познакомились в июле 1967 г. на уже упоминавшейся конференции по глобальным атмосферным исследованиям [15]. Пауль был тогда аспирантом Стокгольмского университета, а уже спустя несколько лет, в 1974 г., вышла его статья [16], в немалой степени изменившая науку о химии атмосферы: её автор отметил роль человека в химических процессах, увеличивающих риски разрушения озонового слоя. В этой статье и в последующей работе 1977 г. [17] эти риски связывались с нарастанием в атмосфере количества реакций с участием молекулярного азота ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и др.), возникающих вследствие полётов сверхзвуковых самолётов, роста концентрации хлорфторуглеродов (CFC) в результате ядерных испытаний. Эти две статьи (вместе со статьями других авторов) вызвали такой общественный резонанс, что привели к заключению в 1987 г. Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, — Международного протокола к Венской конвенции о защите озонового слоя 1985 г. П. Крутцен был инициатором широкомасштабных исследований влияния на атмосферу продуктов горения биомассы (лесные пожары, сжигание остатков сельскохозяйственных отходов, особенно широко практикующееся в тропиках). Эти работы подтолкнули изучение химических процессов не только в стратосфере, но и в тропосфере вплоть до приповерхностных слоёв.

В 1990-х годах по ряду европейских грантов я привлекался к работам по изучению приповерхностных слоёв и не раз заезжал для обсуждения рабочих вопросов к Паулю в Майнц, в Институт химии Общества Макса Планка, где он возглавлял отдел химии атмосферы. В одну из встреч (она проходила в феврале 1995 г.) я спросил его, какие проблемы химии атмосферы мы в ИФА могли бы исследовать с ним совместно? Так, с бочками белого вина в садике его дома, мы договорились о начале работ по приземному озону (ситуация с приземным озоном над всем обширным пространством Евразии была тогда для Крутцена белым пятном). В итоге родился проект, названный Крутценом Tropospheric Investigation of Chemistry of Atmosphere (TROICA). Спустя два десятилетия он посчитал его самым успешным и важным в своей жизни.

Аналитическую аппаратуру для измерения малых примесей в атмосфере мы разместили в специально оборудованном вагоне, который при-

цеплялся к обычным пассажирским поездам [18]. Первая экспедиция (от Москвы до Хабаровска) отправилась в путь уже в ноябре 1995 г. (институт в Майнце оплатил командировочные расходы, а эксплуатационные взяло на себя Министерство путей сообщения РФ). За почти 20 лет реализации проекта было совершено 12 поездов вдоль Транссибирской магистрали, 3 — с севера на юг, от Мурманска до Кисловодска и Сочи, а в одной экспедиции наш вагон по большой кольцевой дороге трижды обошёл вокруг Москвы, и мы узнали состав веществ, приносимых воздушными потоками в столицу и выносимых из неё. Реализация проекта позволила развеять разного рода домыслы. В те годы в адрес Российской Федерации слышались упреки по поводу физического состояния её газопроводов (якобы они дырявые), но изотопный анализ углерода тех регионов, где наблюдался избыток метана, показал, что содержание  $^{14}\text{C}$  в норме, а в добываемом газе его нет, так как этот изотоп имеет период полураспада около 6 тыс. лет.

Проект получил мировую известность, в нём участвовали учёные Германии, Австрии, США, Финляндии. О признании полезности наших исследований говорит тот факт, что организатор работ по проекту TROICA сотрудник ИФА Н.Ф. Еланский (с 2011 г. — член-корреспондент РАН) получил в США звание героя окружающей среды (hero of environment). Такое звание Национальное управление по океанам и атмосфере (NOAA) присуждает ежегодно только одному человеку.

Важным фактором в жизни Института физики атмосферы РАН стала многолетняя связь с аналогичным институтом в Пекине. С 1984 г. Научный комитет по Всемирной программе исследований климата приглашает в свой состав представителей КНР. Первым из них был Е Дучжэн, директор указанного института, а затем сменивший его на этом посту Цзян Циньсунь (иностранец член нашей Академии). С обоими у меня сложились тёплые и дружеские отношения. С начала 1990-х годов коллективы двух институтов проводили совместные исследования по мониторингу состава атмосферы, теории климата, динамической метеорологии и др. В итоге в 2006 г. была образована совместная лаборатория, открытая в Москве президентом Академии наук КНР Лу Сяньнянем. Годом ранее такая совместная лаборатория была открыта в Пекине. Уже более 20 лет мы согласовываем совместные программы исследований, устраиваем ежегодные научные конференции, обмениваемся научными сотрудниками. В последние годы совместные работы распространились на исследования акустических и внутренних волн, их связь с метеорологией, на изучение ветрового волнения в океане. Результаты публикуются в российских и китайских журналах.

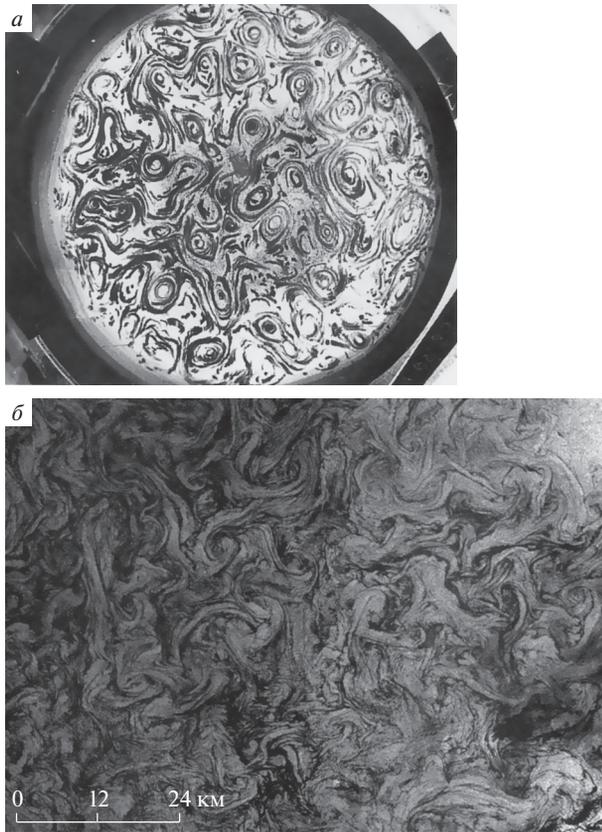


Рис. 1. Ураган на Чёрном море 25.01.2005  
Источник: ESA.

**Конвекция с вращением.** С конца 1970-х до середины 1990-х годов в своих исследованиях я уделял значительное внимание вопросам конвекции в жидкости, в том числе с учётом вращения. Удалось получить формулу для эффективности конвекции — выяснить, какая часть подводимого тепла переходит в кинетическую энергию.

Практически все природные системы вращаются: в атмосфере возникают ураганы, торнадо, в океане — вихри (рис. 1, 2). Каковы их причины? Вопрос этот настолько важен, что ООН объявила 1990-е годы десятилетием познания и борьбы с природными катастрофами. В связи с этим был организован Международный научный комитет под председательством известного английского учёного сэра Дж. Лайтхилла (члена многих академий мира, в том числе и нашей). На одном из заседаний этого комитета Лайтхилл заявил, что остаётся загадкой, как тропические ураганы достигают энергий порядка тысяч водородных бомб. Заметим, что взрыв 1 Мт тринитротолуола даёт энергию  $1.6 \times 10^{15}$  Дж, а кинетическая энергия ураганов порядка  $10^{18}$ – $10^{19}$  Дж. Наша обширная теоретическая и экспериментальная программа по конвекции с вращением позволила легко объяснить эту энергетику с точки зрения теории подобия и размерности, что ещё строже было объяснено в 2018 г. как следствие вероятностных законов, описанных А.Н. Колмогоровым в 1934 г. (к этой работе выдающегося математика я ещё вернусь) [2, 7, 14, 19–21].

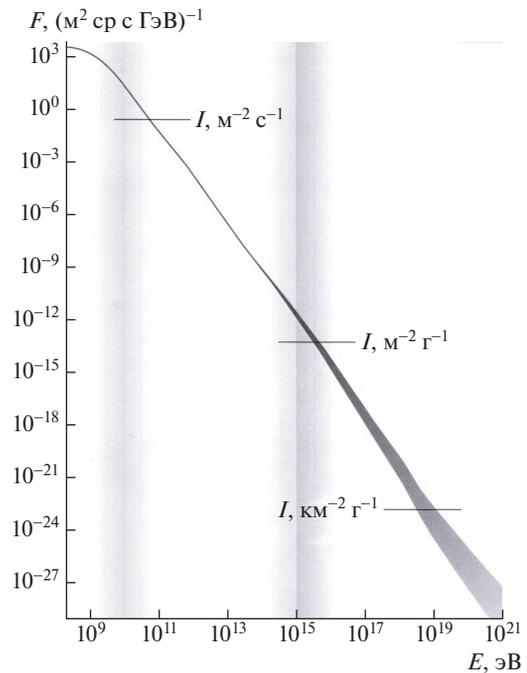
Масса природных объектов вращается, но и в этих вращениях есть элементы случайности. Масштабы Колмогорова действуют и здесь, хотя период вращения ( $T$ ) связан со временем. С применением указанной теории легко объясняются причины возникновения ураганов и других вихрей на поверхности океана и в атмосфере под действием силы Кориолиса, задаваемой параметром



**Рис. 2.** Спиральные вихри на поверхности Балтики по данным ESA (а), вихри в лабораторной посуде  $D = 17$  см (б)

$l = 2\omega \sin\theta = (4\pi/T)\sin\theta$ , где  $T$  – период,  $\theta$  – широта, поэтому в поясе  $\pm 5^\circ$  вокруг экватора ураганов нет. В итоге, согласно Колмогорову, площадь урагана  $S \approx \varepsilon l^{-3}$ , квадрат скорости  $u^2 \approx \varepsilon l^{-1}$ , и их произведение на массу атмосферы над площадью  $S$  даёт полную энергию урагана  $10^{18} - 10^{19}$  Дж, что эквивалентно энергии взрыва тысяч мегатонных бомб.

**Энергетический спектр космических лучей.** Начиная с середины 1990-х годов мною была объяснена статистическая природа ряда природных процессов и явлений, десятки лет остававшихся эмпирическими, но непонятыми теоретически. Первым успехом было установление формы энергетического спектра космических лучей (КЛ), которые возникают при взрывах сверхновых звёзд и ускоряются в межзвёздном газе на случайных ударных волнах, порождённых взрывом. В Галактике происходят 2–3 таких взрыва в столетие, в разных её местах на протяжённости порядка  $10^{20}$  м ~ сотни тысяч световых лет. Ускорение КЛ – вполне случайный процесс. Спектр – число частиц КЛ, регистрируемых в единицу времени на единицу площади [22]. Рисунок 3 пред-

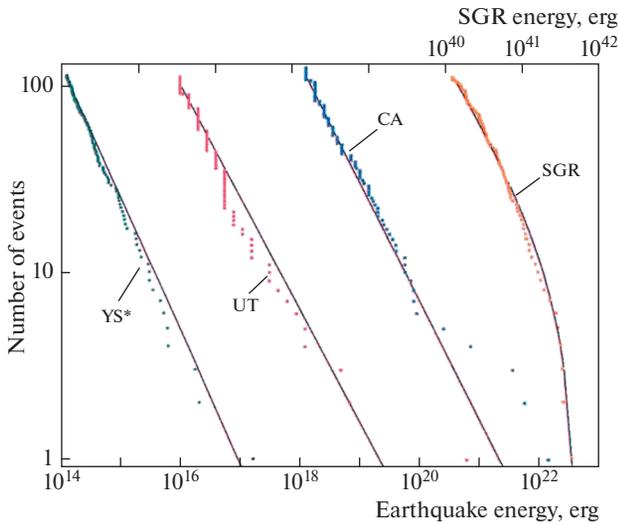


**Рис. 3.** Энергетический кумулятивный спектр космических лучей: число частиц на единицу площади в единицу времени

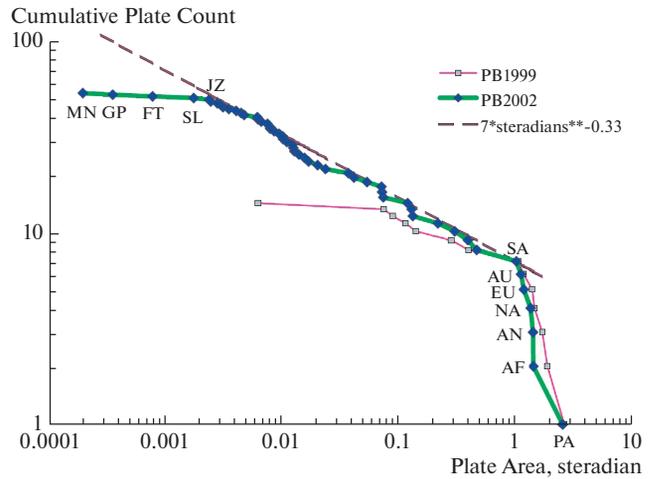
Источник: Википедия.

ставляет этот спектр в зависимости от энергии частиц. При энергии  $3 \times 10^{16}$  эВ магнитное поле Галактики перестаёт удерживать частицы в своих пределах, и их число падает далее быстрее. Общий баланс энергии даёт оценку плотности их энергии порядка  $0.5$  эВ см $^{-3}$ . Величина пропорциональна числу частиц, то есть их концентрации, но это позволяет оценить расстояние между частицами, иными словами, ввести единицу площади. В результате энергетический спектр оказывается степенной функцией энергии  $E^{-n}$ . Теория даёт  $n = 8/3 = 2 + 2/3$  [2, 23]. Многолетний эксперимент “ПАМЕЛА”, проводимый с помощью космического аппарата “Ресурс ДК-1” специалистами из России и стран Европы, в 2014 г. позволил получить [23]  $n = 2.67 \pm 0.02$ . Такое точное совпадение эксперимента с теоретическими предсказаниями, опубликованными в 1997 г., встречается весьма редко.

**Закон Гутенберга–Рихтера.** В 1995 г. мне удалось обосновать сейсмологический эмпирический закон Гутенберга–Рихтера, описывающий зависимость между магнитудой и общим числом землетрясений для любого заданного региона и промежутка времени [2, 22]. Этот закон также степенной, причём показатель степени может быть двух видов в зависимости от толщины земной коры. Для наиболее частых событий  $n \approx 2/3$



**Рис. 4.** Кумулятивные спектры землетрясений. Закон Гутенберга–Рихтера для ряда мест в Калифорнии и для нейтронной звезды  
 Источник: [24].



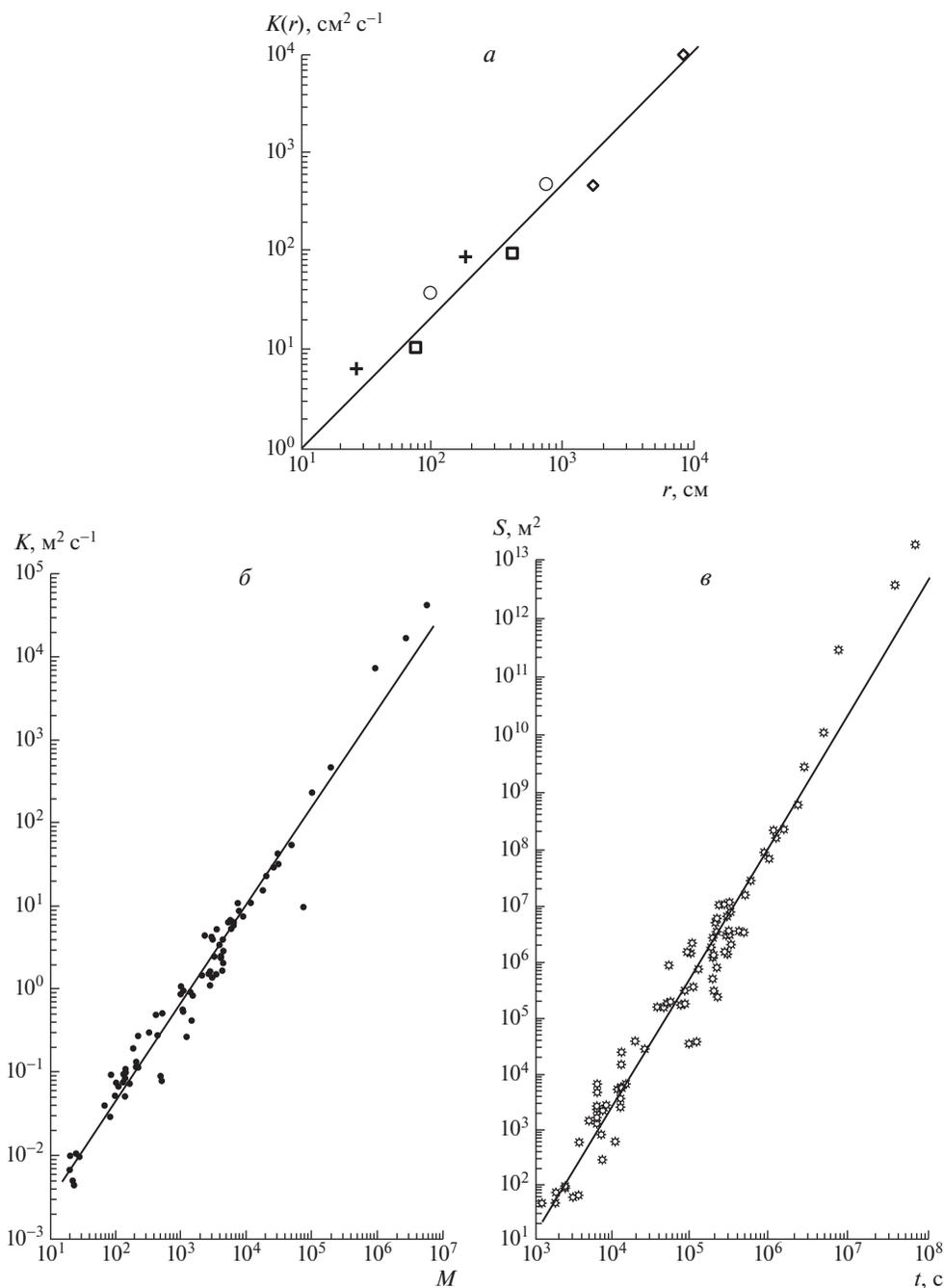
**Рис. 5.** Кумулятивные распределения числа литосферных плит по площадям  
 Источник: [2].

внутри коры толщиной в среднем 30 км. Вблизи срединно-океанических хребтов, у которых образуется новая молодая кора толщиной порядка 1 км и более в сторону от хребтов,  $n \approx 1$ , и там при землетрясении трескается вся кора, в то время как в толстой коре разломы пронизывают лишь её часть. Анализ ситуации с точки зрения теории подобия и размерности был дан в публикации 1996 г. и уточнён в работах [2, 22] (рис. 4). Закон Гутенберга–Рихтера есть также следствие вероятностных законов А.Н. Колмогорова и его школы.

В 2003 г. коллеги-сейсмологи сообщили мне об удивительном тогда для них и для меня распределении кумулятивного числа литосферных плит в зависимости от их площади  $S$ :  $N(\geq S) \sim S^{-n}$ ,  $n = 0.33$  для 42 плит размерами от 0.002 до 1 стерадиана (рис. 5) (один стерадиан – телесный угол, ограничивающий для земной поверхности площадь в 40.6 млн км<sup>2</sup> при площади всей Земли  $4\pi \text{ стр} = 510 \text{ млн км}^2$ ). Мне понадобилось 5 лет, чтобы с использованием начальных идей Колмогорова–Обухова о турбулентности получить, что здесь  $n = 1/3$ . Я провёл простые опыты по расчерчиванию в случайных направлениях листов клетчатой бумаги (в этом мне помогали жена и внучка), а также опыты (как это ни покажется комичным) по разбиванию скорлупы вкрутую сваренных яиц и по расчёту кумулятивных распределений полученных случайных площадей. Убедившись, что эти распределения по форме похожи на таковые для плит, я в 2008 г. отправил в печать свою статью [25]. Лишь в 2017 г. я вспомнил о работе А.Н. Колмогорова 1934 г., из которой сразу следует, что  $n = 1/3$  [21].

**Пятна в океане.** Идеи классиков исследования турбулентности были использованы мною в 2010 г. [26] для теоретического объяснения результатов экспериментов по расплыванию по поверхности океана пятен примеси, полученных в США А. Окубо [27] в 1971 г. Для этого использовались теория и эксперименты по морскому волнению в зависимости от возраста ветровых волн. Экспериментальные данные А. Окубо позволили ему оценить коэффициент диффузии в зависимости от размера пятен и их площадь – от времени. Обе зависимости степенные –  $K \sim r^m$  и  $t^n$ . Для молодых волн  $m = 4/3$  против экспериментального 1.32, для волн близких к насыщению  $m = 1.15 \pm 0.05$  против теоретического  $7/6 \approx 1.167$  [2]. Рисунок 6 демонстрирует экспериментальные зависимости для развитых волн, когда  $n = 2.33 \pm 0.11$  против теоретического значения  $12/5 = 2.4$ . Таким образом, теория через 40 лет после экспериментов, описанных в работе [27], в обоих случаях объяснила данные измерений, согласуясь с ними в пределах статистических ошибок.

**“Случайные движения”.** В 2002–2003 гг. за рубежом были опубликованы работы по структуре турбулентности во вращающейся жидкости. В этом случае спектр флуктуаций скорости спадает с волновым числом  $k$  быстрее, чем в отсутствие вращения:  $k^{-2}$  против  $k^{-5/3}$ . Эти результаты дали толчок началу работы по аналитической теории ураганов, спиралей на поверхности морей и океанов, огненных смерчей, схожих с теми, которые наблюдались при пожарах в результате бомбардировок Гамбурга в 1943 г., Дрездена и Хиросимы в 1945 г. Но об этом направлении исследований



**Рис. 6.** Зависимость коэффициента турбулентной диффузии от размера пятна загрязнения на водной взволнованной поверхности для  $r < 100$  м (а), для  $r > 100$  м (б); зависимость площади пятна загрязнения поверхности океана от времени (в) (по данным А. Окубо)

Различные значки означают данные разных измерений

Источник: [2].

речь пойдёт после изложения теории А.Н. Колмогорова и его школы.

В начале 1930-х годов А.Н. Колмогоров опубликовал несколько статей по аналитическим методам теории вероятности. Их венцом явилась двухстраничная работа 1934 г. под названием “Случайные движения” [20]. В ней рассмотрен

ансамбль частиц, в котором все они подвергаются некоррелированным (марковским) ускорениям по времени и между собой. Численное моделирование траекторий частиц по времени позволяет выяснить случайные скорости этих частиц, а второе интегрирование — случайные их положения. Далее осредняются квадраты относительных

скоростей всех возможных пар частиц, а затем квадраты относительных расстояний между всеми парами. Момент для скоростей оказывается пропорциональным времени и коэффициенту диффузии  $\epsilon$  частиц в пространстве скоростей. Квадрат относительных расстояний пропорционален  $\epsilon t^3$ . Математическая сторона дела нетривиальна, но достаточно кратко и просто объяснена в работе [21]. Подробное объяснение можно найти в фундаментальной книге А.С. Монина и А.М. Яглома, бывших аспирантов Колмогорова [28]. Однако до того А.М. Обухов, с которым А.Н. Колмогоров в 1941 г. развил теорию турбулентности, разработав её спектральный вариант, обосновал присутствие в случайных движениях трёх масштабов, инвариантов [29]  $\langle v^2 u^2(t) \rangle = \epsilon t$ ,  $\langle x^2(t) \rangle = \epsilon t^3$ ,  $\langle u_i x_i \rangle = \epsilon t^2$ .

Рисунок 7 из работы [21] демонстрирует поведение со временем этих масштабов в зависимости от величины ансамбля  $N$ , числа случайных частиц, на которые действуют случайные силы по законам Ньютона. Видно, что даже для  $N = 10$  первый масштаб реализуется уже вполне удовлетворительно, а второй, благодаря интегрированию первичного процесса, эквивалентному осреднению, выполняется практически точно. Ансамбль с  $N = 100$  имеет оба момента, не отличающиеся от теоретических с  $N \rightarrow \infty$ . Для распределений эйлеровых характеристик, в отличие от предыдущих лагранжевых, нужен ансамбль с  $N > 100$ .

Моменты, пропорциональные времени, являются случайными нестационарными процессами, но со стационарными приращениями первого или второго порядка, теория и анализ которых развиты в 1955 г. А.М. Ягломом [28]. Для них также можно определить спектральные разложения, когда интегральная сумма их гармоник будет представлять их энергию. На рисунке 8 показано, как спектры флуктуаций скорости в атмосфере, в аэродинамической трубе, в морских приливах и т.д. в безразмерных координатах не отличаются один от другого, то есть подобны друг другу. Также используются степенные закономерности для коэффициентов диффузии пятен загрязнений на морской поверхности и для роста площади этих пятен со временем [2, 26].

Теория подобия и размерности бурно развивалась в XX веке. Выяснилось, что подобие наблюдается лишь в ограниченных интервалах действия так называемых критериев подобия. Внешне простая, но полная глубокого смысла теория наиболее полно развита трудами Г.И. Баренблатта [30] – в них описывается так называемая промежуточная асимптотика. На рисунке 8 такая асимптотика наблюдается для безразмерных масштабов от  $10^{-4}$  до  $10^{-1}$ . Слева она ограничена отсутствием уни-

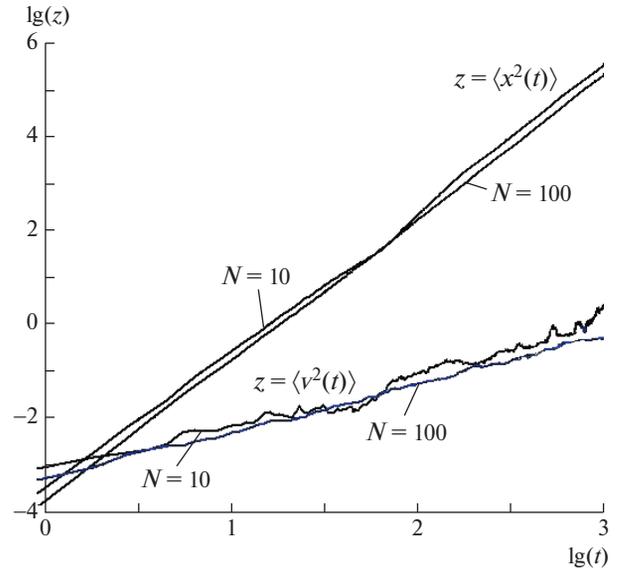
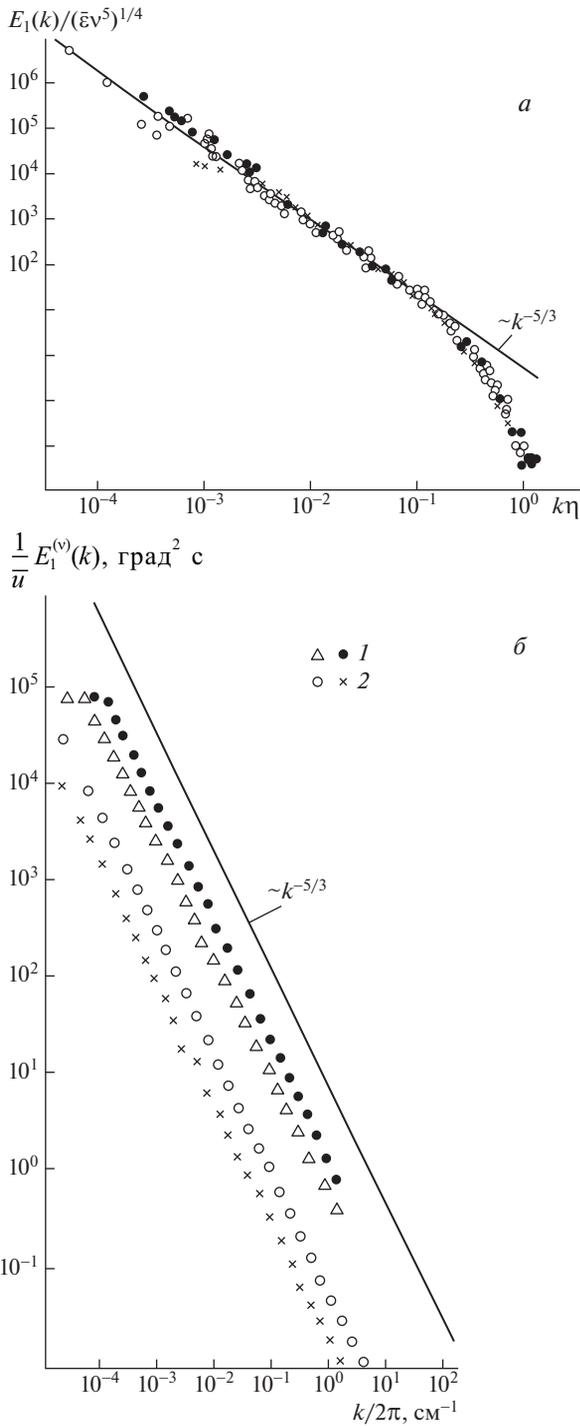


Рис. 7. Вторые моменты скорости и относительных смещений частиц в теории А.Н. Колмогорова, 1934  
Источник: [2].

версальности в области возникновения неустойчивости потока, справа – областью вязкой диссипации флуктуаций скорости, подавляющей эти флуктуации. В областях таких асимптотик движения автомодельны, то есть такие же, как в других масштабах, но при соответствующем изменении координат [30].

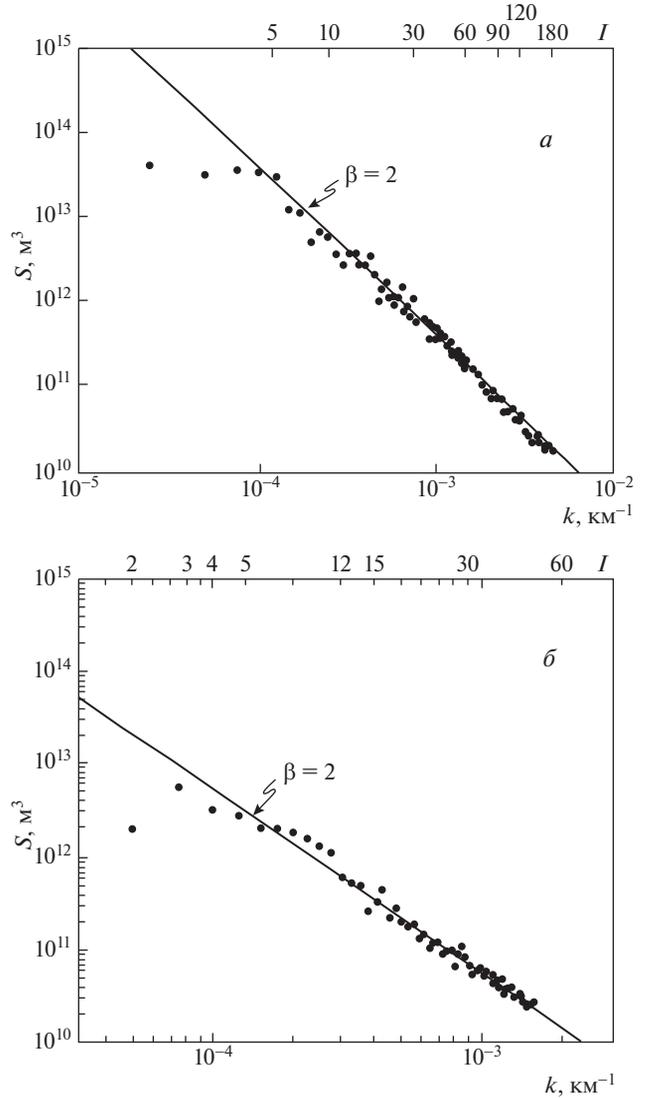
Зависящие от времени масштабы А.Н. Колмогорова могут рассматриваться как структурные функции и могут быть разложены в частотные степенные спектры, показатели степени которых на единицу меньше показателей времени у этих функций [28, 2]. Так процессам с масштабом  $\epsilon t$  соответствуют спектры  $\epsilon \omega^{-2}$ , а процессам со стационарными приращениями второго порядка, когда  $\langle x^2 \rangle \sim \epsilon t$  отвечает спектр  $\epsilon \omega^{-4}$ . Но это есть частотный спектр флуктуаций положений водной поверхности для морских ветровых волн. На самом деле этот спектр эволюционирует с возрастом волнения, безразмерной характеристикой, так что  $n = 4 \pm 1/3$ : молодые волны более крутые, так что  $n = 13/3$ , а волны развитые более пологие, и для них  $n = 11/3$ . Эти значения  $n$  объясняют распространение пятен загрязнений на водной поверхности до тысяч километров в течение нескольких месяцев [26] и на малых расстояниях до 100 м (о чём свидетельствуют публикации, появившиеся через 40 лет после данных измерений).

Кумулятивное распределение событий имеет размерность обратного времени. Если это распределения по геометрическим размерам, на-



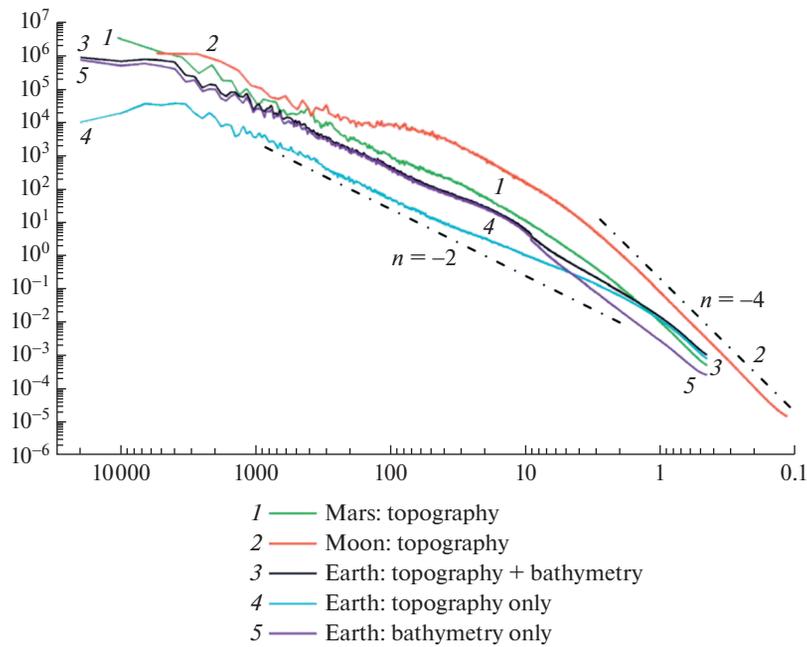
**Рис. 8.** Нормированный спектр флуктуаций скорости (а) и спектры температуры (б). Различные значки обозначают данные разных экспериментов. Верхние ряды точек – измерения днём, конвекция, нижние ряды – ночные измерения  
 Источник: [2].

пример, площадь  $S$ , тогда, согласно второму инварианту Колмогорова, это распределение будет  $\sim S^{-1/3}$ , а если по интенсивности (энергии),



**Рис. 9.** Дискретные спектры (амплитуды сферических гармоник) рельефа поверхностей Земли (а) и Венеры (б)  
 Источник: [32].

то степень будет  $-1$ . Конечно, при этом могут подключаться другие процессы, как при землетрясениях, но если процессы более или менее однородны во времени и пространстве, то близость к указанным степеням сохраняется. Кто летал на самолётах вдоль берегов в хорошую погоду, замечал на водной поверхности “грибы” загрязнений при впадении рек. Их размер  $P$  сопоставлялся с площадями водосборов  $A$ . В работе [31] найдено, что  $P \sim A^b$ , а число “грибов”  $N(\geq P) \sim P^{-\beta}$ , при этом  $b = 0.63 \pm 0.15$  для 130 рек Калифорнии, а показатель  $\beta = 1.02 \pm 0.03$ . Для гидрологических процессов характерно, что кумулятивные распределения площадей затоплений и ущербов от них пропорциональны  $A^{-b}$ , где  $b \approx 2/3$  [33].



**Рис. 10.** Сплошные спектры рельефов Луны, Марса и Земли с двумя асимптотами  $k^{-2}$  и  $k^{-4}$   
 Источник: [32].

Многие подобные результаты можно получить, используя только методы теории подобия и размерности, но для их восприятия слушатели, как правило, просят представить дополнительную аргументацию, требуют модели. Работы А.Н. Колмогорова и его школы по методам практического их использования можно считать вероятностным обоснованием для применения такой теории, которая сама имеет ряд глубоких и тонких моментов [21].

Самым недавним успехом идей А.Н. Колмогорова и его школы стало объяснение и физическое обоснование так называемого правила Каулы [31], остававшегося загадкой с начала космической эры, то есть около 60 лет. Часто его называют “правилом большого пальца” как эмпирически найденное, но названное правилом по традиции и неясно на каких основаниях (рис. 9). Это правило гласит, что флуктуации гравитационного поля небесных тел, найденные сначала для Земли, потом для Луны, Венеры, Марса, а недавно и для астероидов, больших и малых, будучи разложенными по сферическим гармоникам, начиная с их небольшого номера, убывают как квадрат номера гармоники. Та же закономерность обнаружена и для рельефа поверхности названных выше тел. Это обстоятельство было объяснено тем, что рельеф образуется силой тяжести, действующей по углу случайной двумерной функции рельефа, а случайные углы не коррелированы друг с другом, начиная с некоторых мас-

штабов порядка километра, что и ведёт к спектру  $k^{-2}$  [32] (рис. 10).

\* \* \*

Цель науки, как утверждал Дж.У. Гиббс, найти точку зрения, с которой данная проблема кажется наиболее естественной и простой. Представляется, что для природных процессов, где велика роль случайности, это законы теории вероятностей А.Н. Колмогорова и его школы: А.М. Обухова, А.С. Моница, А.М. Яглома, Г.И. Баренблатта. Автор доклада — его научный внук, так как считает себя учеником четырёх последних, к тому же в 1960-х годах Колмогоров представил две мои статьи в журнал “Доклады АН СССР”. Здесь уместно привести следующие слова Андрея Николаевича, приведённые в книге [30]. “Случайность — необходимый, если не важнейший элемент мироздания, но в ней есть определённый порядок, ведущий к конкретным, часто устойчивым структурам. Устойчивость ограничена во времени и пространстве, которые свои в конкретных случаях”. Добавлю примеры: ветровые морские волны, ураганы и спиральные вихри на гладкой морской поверхности, землетрясения, галактики и др. [33].

В заключение остаётся отметить, что описанные в докладе и другие результаты, полученные за десятилетия научной работы, отражены в 6 монографиях (2 в соавторстве, 3 переведены на ино-

странные языки), научных статьях (их около 400, в 70 из них я единственный автор). Отмечу также, что помимо чисто научной и научно-организационной деятельности в 1980–1990-х годах я принимал самое активное участие в общественной жизни, в частности в многолетней борьбе с инициаторами проекта поворота северных рек, которая описана мною в журнале “Новый мир” [34].

### БЛАГОДАРНОСТИ

Хотелось бы выразить искреннюю благодарность сотням моих коллег, многих из которых уже нет в живых. Но я их помню, как и ту роль, которую они сыграли в развитии изложенных здесь научных представлений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Голицын Г.С., Станюкович К.П. Некоторые вопросы магнитной гидродинамики с учётом конечной проводимости // ЖЭТФ. 1957. Т. 33. № 6. С. 1417–1427.
2. Голицын Г.С. Статистика и динамика природных процессов и явлений. М.: Красанд, 2012.
3. Golitsyn G.S. A similarity approach to the general circulation of planetary atmospheres // Icarus. 1970. V. 13 (1). P. 1–24; Голицын Г.С. Теория подобия для крупномасштабных движений планетарных атмосфер // Доклады АН СССР. 1970. Т. 190. № 2. С. 323–326.
4. Обухов А.М., Голицын Г.С. Динамика спуска автоматических станций в атмосферах планет как средство контроля данных измерений // Космические исследования. 1969. № 1. С. 150–155.
5. Голицын Г.С. Введение в динамику планетных атмосфер. Л.: Гидрометеоиздат, 1973; Golitsyn G.S. An Introduction into Dynamics of Planetary Atmospheres. NASA transl. TTF-15, 627, Dec. 1974.
6. Golitsyn G.S. On the martian dust storms // Icarus. 1973. V. 18 (1). P. 113–119.
7. Voubnov B.M., Golitsyn G.S. Convection of Rotating Fluids. Dordrecht: Cluwer Ac. Publ., 1995.
8. Гинзбург А.С. О радиационном режиме поверхности и запылённой атмосферы Марса // Доклады АН СССР. 1973. Т. 208. № 2. С. 295–298.
9. Crutzen P.J. My Life with O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> and Other YZO<sub>x</sub>s. Nobel Lecture. December 8, 1995. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/crutzen-lecture.pdf>
10. Crutzen P.J., Birks J.W. The atmosphere after a nuclear war. Twilight at noon // Ambio. 1982. V. 11 (2–3). P. 114–125.
11. Golitsyn G.S., Ginsburg A.S. Comparative estimates of climatic consequences of Martian dust storms and of possible nuclear war // Tellus. 1985. V. 37B(3). P. 173–181.
12. Всесоюзная конференция учёных за избавление человечества от угрозы ядерной войны, за разоружение и мир // Вестник АН СССР. 1983. № 9. С. 3–124.
13. Turco R.P. et al. Nuclear winter – Global consequences of multiple nuclear-explosions // Science. 23 December 1983. V. 222. P. 1283–1292.
14. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы. М.: Гидрометеоиздат, 1986.
15. Голицын Г.С. Международная конференция по планированию проекта глобальных атмосферных исследований (GARP) // Изв. АН СССР. Физ. атм. океана. 1967. Т. 3. № 12. С. 1134–1137.
16. Crutzen P.J. Estimates of possible variations in total ozone due to nature causes and human activities // Ambio. 1974. V. 3. P. 201–210.
17. Crutzen P.J., Enhalt D.H. Effects of nitrogen fertilizers and combustion on the stratospheric ozone layer // Ambio. 1977. V. 6. P. 112–117.
18. Голицын Г.С., Крутцен П.Й., Еланский Н.Ф. и др. Наблюдения малых примесей в атмосфере над Россией с использованием железнодорожного вагона-лаборатории // Доклады РАН. 1996. Т. 350. № 6. С. 819–823.
19. Голицын Г.С. Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественные критерии их возникновения // Изв. РАН. Физ. атм. океана. 2008. Т. 44. № 5. С. 579–590; Golitsyn G.S. Tropical cyclones and polar lows: Velocity, size, and energy scales, and relation to the 26°C cyclone origin criteria // Adv. Atmos. Sci. 2009. V. 26 (3). P. 585–598.
20. Kolmogorov A.N. Zufallige Bewegungen. Math. Ann. 1934. В 35 (2). P. 116–117; А.Н. Колмогоров. Собр. сочинений. Т. 3. М.: Наука, 1983.
21. Голицын Г.С. Законы случайных блужданий А.Н. Колмогорова 1934 г. // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 5–15.
22. Голицын Г.С. Землетрясения с точки зрения теории подобия // Доклады РАН. 1996. Т. 346 (4). С. 536–539; Cheng B., Epstein R.I., Guyer R.A., Young A.C. Earthquake-like behaviour of soft  $\gamma$ -ray repeaters // Nature. 1996. V. 382. P. 518–520; Голицын Г.С. Звездотрясения на SGR 1806-20 и других нейтронных звёздах // Письма в Астрономический журнал. 1998. Т. 24. № 11. С. 827–832.
23. Голицын Г.С. Спектр космических лучей с точки зрения теории подобия // Письма в Астрономический журнал. 1997. Т. 23. № 2. С. 149–154; Голицын Г.С. Феноменологическое объяснение формы спектра космических лучей с энергиями  $E > 10$  ГэВ // Там же. 2005. № 7. С. 500–505; Карелин А.В. и др. (60 авторов). Новые измерения протонов и ядер гелия космических лучей высоких энергий при помощи калориметра в эксперименте ПАМЕЛА // ЖЭТФ. 2014. Т. 146. № 3. С. 513–517.
24. Cheng B. et al. Earthquake-like behaviour of soft  $\gamma$ -ray repeaters // Nature. 1996. V. 382. P. 518–520.
25. Голицын Г.С. О распределении числа литосферных плит по размерам // Изв. РАН. Физика Земли. 2008. № 3. С. 3–8; Golitsyn G.S. On the cumulative distribution of the lithospheric plates by their areas // Russ. J. Earth Sci. 2017. V. 17. No 5. <http://elpub.wdcb.ru/journals/tjes/v17/2017ES000607/2017ES000607.pdf>

26. *Голицын Г.С.* Коэффициент турбулентной диффузии примеси на водной поверхности в зависимости от стадии развития волнения // Изв. РАН. Физ. атм. океана. 2011. Т. 47(3). С. 426–432; *Голицын Г.С., Чхетиани О.Г.* Влияние вязкости на горизонтальную диффузию примеси в поле ветровых волн // Изв. РАН. Физ. атм. океана. 2014. Т. 50. № 6. С. 623–629.
27. *Okubo A.* Oceanic diffusion diagrams // *Deep-sea Res.* 1971. V. 18. P. 789–802.
28. *Monin A.S., Yaglom A.M.* Statistical Hydromechanics. V. 2. MIT Press, 1975; *Монин А.С., Яглом А.М.* Статистическая гидромеханика. Т. 2. М.: Физматлит, 1967.
29. *Obukhov A.M.* Description of turbulence in Lagrangian terms // *Adv. Geophys.* 1959. V. 4. P. 117–119; *Обухов А.М.* Описание турбулентности в лагранжевых переменных // Загрязнение атмосферы и турбулентная диффузия. Сборник статей. Перев. с англ. М.: ИИЛ, 1961.
30. *Varenblatt G.I.* Scaling. Cambridge Univ. Press, 2003; *Баренблатт Г.И.* Автомодельные явления – анализ размерностей и скейлинг. Долгопрудный: Интеллект, 2009.
31. *Голицын Г.С.* Скопления галактик, параметры подобия и соотношения между их измеряемыми характеристиками // УФН 2015. Т. 183. № 12. С. 1323–1332.
32. *Kaula W.P.* Theory of Satellite Geodesy. Bleinsdell, Waltham. Ma. 1966; *Гледзер Е.Б., Голицын Г.С.* Скейлинг и конечные ансамбли частиц в движении с притоком энергии // Доклады РАН. 2010. Т. 453. № 4. С. 466–470; *Gledzer E.B., Golitsyn G.S.* Kaula's rule – a consequence of probability laws by A.N. Kolmogorov and his school // *Russ. J. Earth Sci.* 2019. V. 19. ES6007.  
<http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v19/2019ES000651/2019ES000651.pdf>
33. *Голицын Г.С.* Степенные распределения затопляемых областей в гидрологии // Водные ресурсы. 2018. Т. 45 (4). С. 503–507.
34. *Голицын Г.С.* Каспий поднимается... // Новый мир. 1995. № 7. С. 243–249.

ДОКЛАДЫ ЛАУРЕАТОВ БОЛЬШОЙ ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА РАН 2019 ГОДА

НАШИ ВНУКИ, КАК И МЫ СЕГОДНЯ,  
БУДУТ ЖИТЬ В АНТРОПОЦЕНЕ

© 2021 г. П. Й. Крутцен

*Институт химии Общества Макса Планка, Майнц, Германия*

*E-mail: paul.crutzen@mpic.de*

Поступил в редакцию 01.07.2020 г.

После доработки 24.08.2020 г.

Принят к публикации 01.11.2020 г.

Доклад лауреата Нобелевской премии по химии П.Й. Крутцена затрагивает несколько аспектов современного понимания новой геологической эпохи, напрямую связанной с деятельностью человека в масштабах планеты, – антропоцена. Рассматриваются ставшие сегодня актуальными проблемы, волновавшие философов и мыслителей прошлого. Особое внимание уделяется вкладу академика В.И. Вернадского, заложившего эмпирический фундамент науки о биосфере. Автор привлекает внимание к серьёзным последствиям рукотворного изменения климата и выражает надежду на то, что осознание грозящих опасностей, о чём будет свидетельствовать принятие не только учёными, но и обществом в целом концепции антропоцена, поможет избежать ухудшения климата и вывести человечество на устойчивый путь в будущее.

*Ключевые слова:* антропоцен, человечество, глобальные изменения, эволюция.

DOI: 10.31857/S0869587321010059

Желание жить лучше – иметь комфортное жилье, качественно питаться, поддерживать своё здоровье, при этом избегая трудностей и страданий, не теряя надежды и способности к позитивному мышлению, – свойственно практически всем нам. Однако не стоит забывать, что благополучие индивида в немалой степени зависит от социума. В свою очередь благополучие социума неразрывно связано с состоянием природной среды, а оно, особенно в последние десятилетия, вызывает тревогу. Масштаб, скорость, интенсивность и многообразие изменений на нашей пла-

нете настолько ошеломляющи, что у всех, кого тревожит её будущее, возникает опасение, что эти процессы выходят из-под контроля. Осмыслить происходящее возможно только с использованием инструментария науки. Учёные, владея этим инструментарием, несут моральную ответственность перед обществом – они должны указывать людям необходимые ориентиры, используя всё лучшее, что дают наблюдения, эксперименты, накопленное знание, творческая способность к воображению, наконец, понимание, рождающееся в дискуссиях и выражаемое в докладах и выступлениях.

Со времени публикации в мае 2000 г. моей совместной с профессором биологии Мичиганского университета (США) Юджином Стёрмером статьи “Антропоцен” в информационном бюллетене Международной геосферно-биосферной программы (IGBP – International Geosphere-Biosphere Programme) [1] в мире выполнено огромное количество исследований в самых разных областях науки. Результаты впечатляющи: сегодня мы располагаем всё возрастающим потоком информации о самом широком круге процессов. Накоплен огромный, пока до конца неосмысленный объём знаний, свидетельствующих о нашем прозрении и запоздалом понимании, насколько взрывоопасно наше воздействие на планету



КРУТЦЕН Пауль Йозеф – почётный директор Отдела химии атмосферы Института химии Общества Макса Планка, иностранный член РАН (Отделение наук о Земле РАН, секция океанологии, физики атмосферы и географии).

(появился термин “The Great Acceleration” – “Большое ускорение”, отражающий стремительный, на миллиарды, рост численности населения Земли начиная с середины XX в. и повсеместную индустриализацию). Эта интеллектуальная работа олицетворяет врождённое неуёмное стремление *Homo Sapiens* к познанию планеты и пространства вне её, а наряду с этим – стремление к улучшению жизни на Земле, стремление к избавлению, насколько возможно, от страданий, сопровождающих человечество на протяжении его истории.

Но всегда ли мы, люди, действуем разумно? Каждый из нас считает себя мудрым и рассудительным, однако, заглянув в себя поглубже, может признать, что временами совершает поступки, которые нельзя признать мудрыми. И это грустное наблюдение можно отнести не только к индивиду, но и к их группе, что я проиллюстрирую на примере пьесы замечательного немецкого драматурга Бертольта Брехта “Жизнь Галилея”.

Эта эпическая пьеса повествует о периоде жизни великого итальянского учёного, датированном 1609–1642 гг. Брехт написал её в 1939 г. в Дании, будучи изгнанником из-за царивших в Германии ужасов нацизма. Впервые пьеса была поставлена в Цюрихе в 1943 г. В 14-й сцене Галилео Галилей в разговоре с Андреа Сартти восклицает: “Я убеждён, что единственная цель науки – облегчать тяготы (*Mühseligkeit*) человеческого существования. А если учёные, запуганные эгоистичными правителями, станут самонадеянно заниматься наукой ради науки, то наука может стать калекой, а ваши новые машины принесут только новые тяготы”. Помимо критического взгляда Галилея на коллег и на самого себя, в пьесе присутствует другой важный момент: в ней озвучиваются плохие (с позиций общества первой половины XVII в.) новости, в данном случае научные. Когда вольнодумец, вопреки вековой твердокаменной геоцентрической точке зрения, утверждает, что Земля движется вокруг Солнца, а не наоборот (*Die Sonne steht still, die Erde kommt von der Stelle*), то как могут обычные люди и власть предержащие принять это фундаментальное научное открытие, которое развеивает их веру в своё центральное место в Солнечной системе? Отрицание прежних представлений, считавшихся истиной, рождает страх и гнев. Воистину, потребовались многие годы, чтобы общество и власть смогли проглотить эту “горькую пилюлю” научного знания.

Не является ли сегодня концепция антропоцена подобной горькой пилюле? Создаётся впечатление, что в нашу эпоху, хотя учёные-климатологи неоднократно на протяжении десятилетий приводили неопровержимые доказательства причин, масштабов и серьёзности климатических изменений, история с неприятием “горькой пи-

люли” научного знания повторяется. Однако в сравнении с проблемами времён Галилея перед нами две новые. Одна из них – необходимость осознания того факта, что мы вступили в антропоцен. Другая же заключается в том, что во избежание грозящего ущерба и возможных страданий в глобальном масштабе мы должны начать действовать. В каком-то смысле мы, человечество, снова в центре. Справимся ли с этим вызовом? Мы просто обязаны, потому что атмосфера, биосфера, океаны и криосфера уже серьёзно пострадали от действий человека. Мы долго не предпринимали серьёзных мер, наивно играли в “поживём – увидим”, но реальность заставляет нас открыть глаза, признать справедливость опасений климатологов. Можно констатировать: климат меняется столь быстро, что даже используя постоянно развивающиеся методы исследований, мы с трудом успеваем следить за меняющимися условиями на Земле. Понятно, что серьёзные научные исследования требуют немалого времени, однако уже сегодня мы знаем наверняка, что ситуация крайне опасна. Скорейшее уменьшение зависимости от использования нефтеносных песков, сланцевых углеводородов, ископаемого угля, нефти и природного газа – самая актуальная задача, стоящая перед человечеством сегодня.

Перечень научных достижений, в контексте рассматриваемой темы имея в виду достижения, опирающиеся на знания об окружающей среде, длинен. Ещё в первой половине XVI в. немецкий учёный Георгий Агрикола в одном из своих трактатов писал о мерах предотвращения поступления в окружающую среду токсичных паров и пепла при выплавке и переработке руды, вредящих полям земледельцев. Успехи в борьбе с отравлением токсичными веществами (например, мышьяком и тяжёлыми металлами, особенно ртутью и свинцом), с кислотными дождями, смогом и загрязнением воздуха, “озоновой дырой” и многими другими проблемами обнадёживают. Столкнувшись ещё в доисторические времена с опасностями, таившимися в саванне и джунглях, природными инфекциями, вызывающими различные заболевания, ныне *Homo Sapiens* всё чаще сталкивается с другими опасностями – теми, которые порождены научно-техническим прогрессом, по сути являющимся самым сложным и плохо контролируемым экспериментом огромного масштаба. Ставки высоки! Вновь и вновь мы приоткрываем Ящик Пандоры и вынуждены иметь дело с последствиями своих непродуманных действий. Маленький котенок может прогуляться по бельевой веревке, не сильно рискуя, в то время как *Homo Sapiens*, бездумно пытается проделать именно такой трюк, ставя на карту своё будущее.

Напомню об идеях ещё одного мыслителя. Французский священник-иезуит, философ и тео-

лог, геолог, палеонтолог, археолог, антрополог Пьер Тейяр де Шарден (1881–1955) был вынужден оставить богословие ради занятий наукой (как и Галилей, которому пришлось иметь дело с инквизицией в 1632 г.). В 1929 г. Тейяр де Шарден, находившийся тогда в изгнании и бывший авторитетным членом команды Национальной геологической службы Китая, обнаружил фрагменты останков, позднее известных как синантроп (“пекинский человек”). И именно Тейяр де Шарден взялся решить, как когда-то Блез Паскаль (1623–1662), возможно, невыполнимую задачу – примирить науку с религией или наоборот. Его поиски понимания образа жизни человека на протяжении всей его эволюции, особенно открытие возможной “цели” или “смысла” нашего существования, соотносятся с самым главным, но едва ли возможным для ответа и сугубо фундаментальным вопросом. Помогая собрать воедино удивительную головоломную мозаику картины человечества, которая складывалась всё быстрее благодаря осмыслению и научному поиску, Тейяр де Шарден с 1923 г. работал над концепцией ноосферы. Смысл её, говоря простым языком, заключается в том, что над биосферой находится сфера разума. Это сфера мышления и осознания человечества как целого, призванного развиваться далее так, чтобы в конце концов составить единство со всем сущим на планете.

В 1922–1923 гг. в Париже Тейяр де Шарден слушал в Сорбонне лекции известного русского минералога, биогеохимика Владимира Ивановича Вернадского (1863–1945). Вернадский развил концепцию ноосферы, кратко определив “человечество как геологическую силу”. По Вернадскому, ноосфера – это третий этап развития Земли, следующий за геосферой и биосферой. Подобно тому, как биота преобразовала геосферу, люди будут преобразовывать биосферу с определёнными последствиями для геосферы.

Научный подход Вернадского весьма основателен, он учитывает роль человечества, изменяющего облик Земли. Его фундаментальный труд “Биосфера” (1926) демонстрирует новаторское понимание процессов на поверхности Земли, причём не стоит забывать, что выполнен он во времена, когда объём доступных данных был гораздо меньшим, чем большинство нынешних студентов может себе представить. Во введении к французскому изданию этой книги, вышедшему в 1928 г., Вернадский отмечал: “Стараясь твёрдо держаться эмпирических основ, не прибегая к гипотезам, мне приходилось довольствоваться скудным числом точных наблюдений и данных строго поставленных экспериментов. Крайне необходимо, чтобы как можно быстрее были собраны большие объёмы количественно подтверждённых фактов. Пройдёт немного времени и бо-

лее глубокое понимание биосферы в жизненных явлениях станет очевидным” [2].

Спектр процессов, которые уже изменили и продолжают изменять лик Земли, указывает на то, что мы, люди, действительно представляем собой геологическую силу. Антропогенное изменение климата, как и глобальное потепление во всех его аспектах, несомненно, стало наиболее изучаемым и широко обсуждаемым в публичной сфере процессом. Часто учёным разных стран приходится объяснять, являются ли экстремальные погодные явления (торнадо, ураганы, волны тепла, природные пожары, засухи и т.п.) последствиями глобального потепления. Можно с уверенностью сказать, что осознание глобального потепления как реальности наконец-то пришло. “Климатические скептики” умолкают, их аргументы блекнут на фоне очевидности огромного ущерба, который уже нанесли некоторые из перечисленных явлений.

За вопросом “С какого времени мы, человечество, являемся геологической силой?” следует другой – “Когда именно начался антропоцен?”. На этот счёт выдвигается множество идей. Дата начала любой геологической эпохи устанавливается геологами. Международная комиссия по стратиграфии (ICS – International Commission on Stratigraphy) и Международный союз геологических наук (IUGS – International Union of Geological Sciences) пока не признают антропоцен в качестве раздела геологической шкалы. И возникает дилемма: с одной стороны, действительно ли мы так уж нуждаемся в обосновании точной датировки начала этой эпохи? С другой стороны, согласование этой даты станет огромным шагом к признанию текущих проблем и принятию необходимых мер в самом скором времени. Сегодня Вернадский вполне мог бы повторить фразу из упоминавшегося французского издания своей книги: “Это не должно занять много времени, как только огромная важность феномена жизни в биосфере будет осознана”. Мы уже не живём в голоцене, мы вступили в антропоцен. Между тем периодизация (деление на этапы) голоцена недавно была официально принята IUGS. Я надеюсь, что в ближайшее время мы узнаем, когда же начался антропоцен как геологическая эпоха.

Понимание и признание значительной роли человечества в судьбе Земли как планеты растут стремительно. Ещё недавно идея антропоцена многим казалась надуманной, теперь же она становится основным ориентиром для объяснения происходящего. Наблюдается поистине взрывной рост исследовательской активности во всё большем количестве дисциплин (включая, например, экономику и социологию), представители которых изучают проблемы антропоцена. Увеличение числа соответствующих публикаций за

**Таблица 1.** Количество публикаций с упоминанием антропоцена

Период	В заголовке	В тексте
2000–2004	53	2643
2005–2009	173	4144
2010–2014	1283	17400
2015–2019	5166	70060

*Источник:* GoogleScholar, использующий в качестве критерия наличие термина “антропоцен” в названии или тексте публикации.

последние два десятилетия иллюстрирует таблица 1 – приведённая в ней статистика говорит сама за себя [3].

Проявления изменений климата, с которыми мы сталкиваемся сегодня, – результат выбросов преимущественно  $\text{CO}_2$ , при этом 80% этого “руководного” углекислого газа поступило в атмосферу на протяжении моей жизни, то есть невероятно быстро. Однако для сглаживания пагубных последствий стремительного технологического прогресса уже предложены возможные решения. Что касается глобального потепления, то рассматриваются три главных подхода. Первый из них – существенное сокращение выбросов  $\text{CO}_2$  в ближайшее время. Второй – адаптация к климату и условиям, которые, мягко говоря, будут гораздо менее дружелюбными для человека, чем существовав-



**Рис. 1.** Диск Земли во время равноденствия 22 сентября 2013 г.

*Источник:* Роскосмос, Научный центр оперативного мониторинга Земли, НИЦ “Планета”.

шие в последние десять тысячелетий. Третий подход предполагает климатическую геоинженерию, реализуемую благодаря всё новым и новым техническим достижениям. Такое сугубо технологическое решение привлекательно для тех, кто полагает, что возможен ответ разбушевавшейся природе по принципу “око за око, зуб за зуб”.

Первый подход при его воплощении не обязательно ухудшает качество нашей жизни. Второй предполагает крупномасштабные беды и потери [4]. Подобно первому, третий путь потребует от нас стать не только коллективно мудрее, но и достичь консенсуса в осуществлении неординарных мер в глобальном масштабе. Однако это климатическое лекарство имеет побочные эффекты и может подавлять симптомы, но не способно вылечить. Понятно, что мы должны сократить выбросы вредных веществ, чтобы избежать катастрофических изменений, но одновременно нужно адаптироваться к жизни на израненной планете. Я не упомянул четвёртый подход – попытаться сделать другую планету пригодной для жизни. В этом случае пределов для наших фантазий и замыслов нет.

Человеческое воображение позволяет учёным проникать в ранее не известные миры, руководствуясь идеями, предположениями, гипотезами, теориями и экспериментальными доказательствами. Часто при проверке наших идей приходится сталкиваться с неприятными фактами. Например, концепция Геи<sup>1</sup> вполне может остаться всего лишь красивой гипотезой. А вот идеи, выдвинутые Вернадским в его трудах столетие тому назад, служат хорошим напоминанием о серьёзной фундаментальной науке. Наконец, стремление Тейяра де Шардена объединить религию с будущей эволюцией человека (в то время как его окружение вело борьбу за избавление от утешительной идеи Бога как “практичного творца”), за которое он был вынужден пребывать в ссылке в Китае, является непревзойдённым примером поиска истины.

Наше любопытство, стремление понять всё, что нас окружает, а также самих себя, заставляют науку “заглядывать под каждый камень”. Тем не менее трудно избавиться от впечатления, что на нынешней стадии антропоцена, которую мы, к сожалению, пока не можем назвать ранней, не зная возможной её длительности, человечество как геологическая сила выглядит, с одной стороны, необузданным, с другой – беспомощным.

Детям и молодым людям прожитые мной 87 лет кажутся вечностью; но когда тебе 87 лет,

<sup>1</sup> Согласно трактовкам концепции Геи, Землю можно воспринимать в качестве суперорганизма, который путём обратных взаимосвязей между живым и неживым мирами поддерживает постоянство среды и необходимые для жизни условия (прим. ред.).

всё в этом мире, в том числе и прожитые годы, воспринимается по-другому. Давайте надеяться на то, что благодаря признанию и осознанию нашей эпохи как антропоцена (спустя два десятилетия после появления первой небольшой публикации о нём в информационном бюллетене) действия, необходимые для предотвращения необратимого ущерба нашей планете, а особенно многочисленных тягостных последствий глобального потепления, теперь получают необходимый импульс.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Подготовка оригинального текста на английском К. Бреннинкмайера, PhD, Институт химии Общества Макса Планка, Майнц, Германия.

Перевод с английского выполнен доктором географических наук Н.А. Зайцевой, Отдел наук о Земле

РАН, и кандидатом физико-математических наук С.С. Громовым, Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Crutzen P.J., Stoermer E.F.* The “Anthropocene” // IGBP Newsletter. 2000. No. 41, May.
2. *Аксёнов Г.П., Земцов А.Н.* Французское издание “Биосферы” В.И. Вернадского 1929 г. (электронный документ). Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. <http://old.ihst.ru/files/pdfs/biosphere-vern-fran.pdf>
3. Глоссарий по теме “Антропоцен” // Курьер ЮНЕСКО. 2018. № 2. С. 28–29.
4. *Hansen J., Sato M., Hearty P. et al.* Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2°C global warming could be dangerous // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. V. 16. P. 3761–3812.

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА КАК СПОСОБ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

© 2021 г. В. А. Кулагин<sup>а,\*</sup>, Н. В. Дунаева<sup>а,\*\*</sup>, Д. Д. Яковлева<sup>а,\*\*\*</sup>

<sup>а</sup> Институт энергетических исследований РАН, Москва, Россия

\*E-mail: vakulagin@hse.ru

\*\*E-mail: nataly\_25\_04\_92@mail.ru

\*\*\*E-mail: yakovlevadariad@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.01.2020 г.

После доработки 09.09.2020 г.

Принята к публикации 15.10.2020 г.

В статье анализируются новые технологические способы использования биогаза — энергетического ресурса, распространённого во многих странах мира. Биогаз рассматривается авторами не только как вид энергии, но и как одно из средств решения экологических проблем, в частности, в российских мегаполисах, где наиболее остро стоят проблемы утилизации твёрдых коммунальных отходов и загрязнения окружающей среды. В работе представлены мировой опыт использования биогаза и перспективы его применения в России с учётом национальных особенностей, включая конкуренцию с другими видами топлива и государственное регулирование.

*Ключевые слова:* биогаз, экология, отходы, выбросы, затраты, себестоимость.

DOI: 10.31857/S0869587321010060

Во многих странах мира биогаз признан не только перспективным энергетическим ресурсом, он рассматривается как один из способов решения экологических проблем. Существуют крупные государственные программы по поддержке этого направления. Однако в России бизнес на биогазе пока не получил широкого распространения и ограничивается точечными проектами экспериментального характера. Между тем проблема утилизации и переработки отходов, решению которой могли бы способствовать биогазовые технологии, становится всё острее.

**Растущие экологические угрозы для российских мегаполисов и окружающей среды.** На примере Московского региона можно убедиться, что полигоны твёрдых коммунальных отходов (ТКО) и их рекультивация, а также заводы по термической обработке мусора существенно ухудшают экологическую ситуацию из-за выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Так, в 2017–2019 гг. жители Москвы и Подмосковья многократно жаловались на выбросы свалочного газа, концентрация которого превышала предельно допустимые нормы, что приводило даже к госпитализации граждан [1–4].



КУЛАГИН Вячеслав Александрович — заведующий отделом исследования энергетического комплекса мира и России ИНЭИ РАН. ДУНАЕВА Наталья Викторовна — инженер ИНЭИ РАН. ЯКОВЛЕВА Дарья Дмитриевна — инженер ИНЭИ РАН.

Не менее остро проблема утилизации отходов стоит в сельскохозяйственном производстве. Стремительное наращивание мощностей свиноводческих комплексов приводит к значительному увеличению отходов от забоя животных и скоплению вокруг предприятий продуктов их жизнедеятельности, отличающихся высоким содержанием экологически опасных компонентов. В соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов они относятся к 3 классу опасности [5, 6]. Такая тенденция и частое нарушение существующих законных способов утилизации (производство удобрений, компостирование и внесение навоза на пахотные земли) сокращают площади свободных сельскохозяйственных угодий, доступных для внесения органических удобрений, так как отходы, не прошедшие необходимые стадии очистки, отравляют землю.

Концепция комплексного управления отходами заключается в применении дифференцированных методов обращения с разными компонентами ТКО и использовании экономических, нормативно-правовых, организационно-управленческих, технологических и информационных регуляторов с учётом особенностей функционирования системы на той или иной территории. Система управления отходами представляет собой совокупность работ по организации, сбору, учёту, транспортировке и сортировке ТКО. Сюда же входят технические методы обращения с отходами – переработка, компостирование, захоронение и сжигание.

В России население практически не сортирует отходы, что объясняется достаточно низким уровнем информированности об основных принципах этого процесса и неготовностью инфраструктуры. Коммунальные службы начали сортировать мусор только в последние годы, когда удалось внедрить территориальные схемы обращения с отходами, поэтому процесс ещё не получил должного развития. Кроме того, мощности для сжигания отходов ограничены, остаётся открытым и вопрос экологической приемлемости такого решения.

Более 90% ТКО в нашей стране подлежат захоронению. Эта методика, несомненно, обладает рядом преимуществ, к которым относят довольно низкие затраты на содержание свалок и полигонов, возможность размещения там широкой номенклатуры отходов с последующей рекультивацией площадок под сельскохозяйственные и социальные нужды. Но есть и негативные последствия захоронения мусора, связанные с загрязнением грунтовых вод и земли токсичными веществами, а также неконтролируемыми выбросами в атмосферу свалочного газа [8, 9].

Усилия Европейского Союза, Японии и других развитых стран направлены на ликвидацию

свалок как понятия в системе управления отходами, переход к экономике замкнутого цикла (circular economy) и концепции так называемых нулевых отходов (zero waste). Однако в нашей стране, если учитывать состояние дел в области обращения с отходами, существующие объёмы свалок и скорость их рекультивации, нельзя прогнозировать минимизацию захоронения ТКО вплоть до нуля ранее 2050-х годов. Задача сегодняшнего дня – найти перспективные способы использования свалок. Мировой опыт показывает, что современные технологии позволяют извлекать выделяемый биогаз, который образуется на свалке, предотвращая его эмиссию в окружающую среду, и получать из него энергию с приемлемыми экономическими показателями. Даже при переходе к концепции нулевых отходов биогаз может оставаться одним из важных элементов в производственной цепочке обращения с отходами.

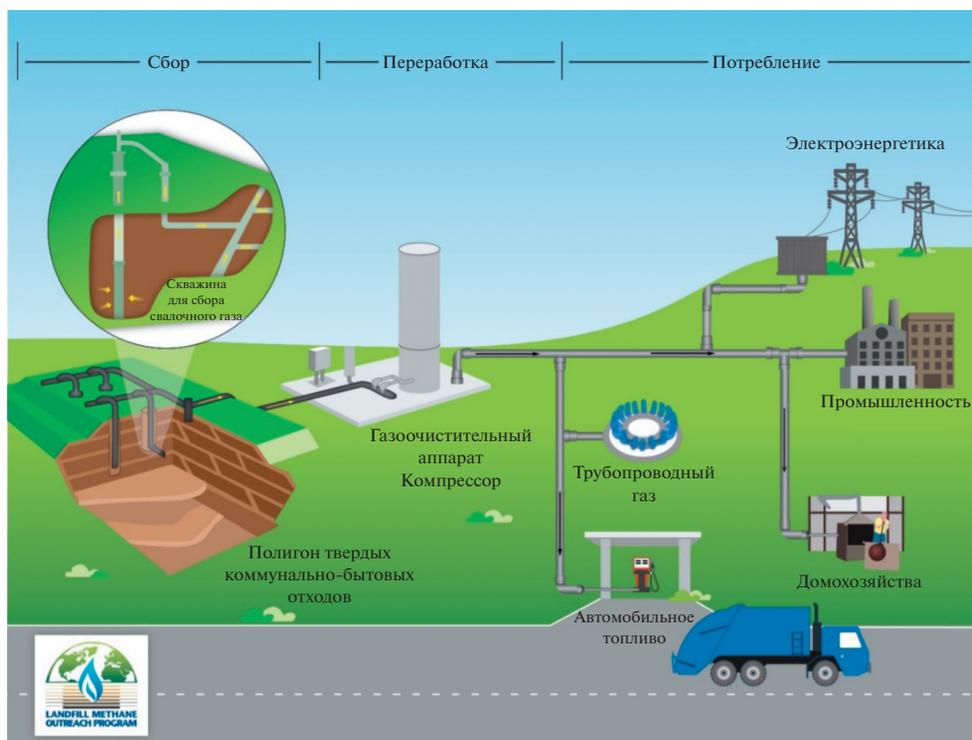
**Новые технологии использования биогаза и мировой опыт их применения.** Биогаз производят путём анаэробного брожения биомассы. В зависимости от вида обрабатываемого сырья и типа переработки выделяют три обособленных направления его производства:

- свалочный газ (landfill gas), образующийся при разложении неопасных муниципальных бытовых отходов;
- газ сточных вод (sewage sludge gas), образующийся на очистных сооружениях;
- другие биогазы анаэробного брожения (biogases from anaerobic digestion), образующиеся при ферментации энергетических культур и органических отходов.

**Таблица 1.** Химический состав биогаза и природного газа, %

Компоненты	Биогаз анаэробной ферментации	Природный газ
Метан	50–85	83–98
Углекислый газ	15–50	0–1.4
Азот	0–1	0.6–2.7
Кислород	0.01–1	–
Водород	Менее 1	–
Сероводород	Менее 1	–
Аммиак	Менее 1	–
Этан	–	До 11
Пропан	–	До 3

Источник: [6].



**Рис. 1.** Схема получения и использования свалочного газа  
*Источник:* [13].

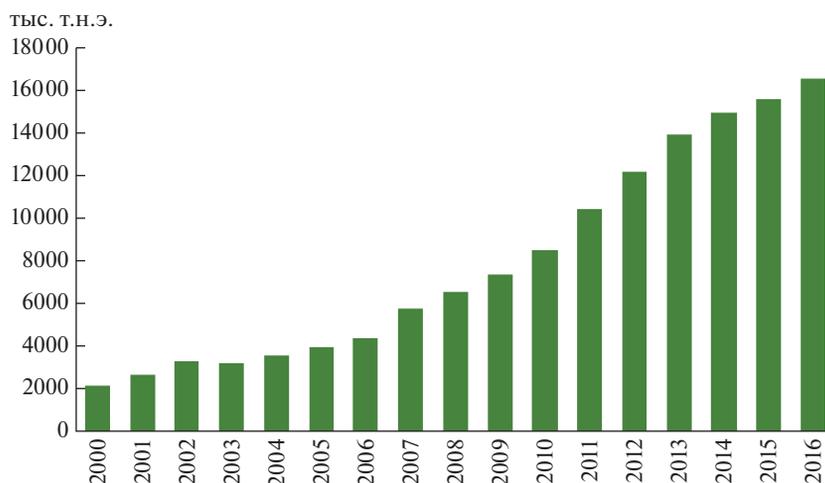
Ценность биогаза как энергетического сырья определяется тем, что в его состав входит метан (50–85%), а также углекислый газ и незначительные примеси кислорода, сероводорода, азота, аммиака и водорода, что диктует необходимость его очистки (табл. 1).

Темпы роста промышленного производства биогаза в странах разные, причём толчком для развития таких технологий зачастую служит именно государственная политика. Страны осуществляют инвестиции в различные типы биогазовых систем в зависимости от принятых экологических и энергетических программ. Например, в Великобритании, США и Южной Корее большую часть биогаза получают из свалочного газа, тогда как в Болгарии и Швеции производственные мощности созданы на установках по очистке сточных вод. Дания больше использует навоз, борясь таким образом с его перепроизводством. В Германии основным исходным сырьём служат энергетические культуры и пищевые отходы.

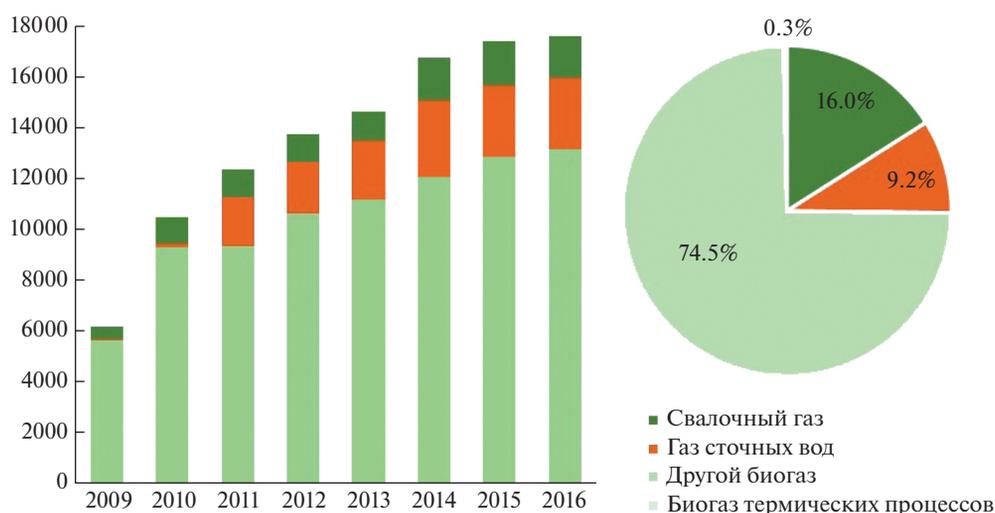
Технология получения свалочного газа отличается от других типов его производства. Ключевым в получении любого биогаза служит анаэробное сбраживание биомассы — энергетических культур, твёрдых и жидких органических и бытовых отходов [7]. Но если наиболее распространённый метод производства биогаза предполагает наличие специальной ёмкости — биогазовой

установки (метантанкер, дигестор), то в случае со свалочным газом необходим обустроенный полигон для его сбора, отвечающий современным экологическим нормам. На полигоне роют котлован, дно которого застилают специальной мембраной и покрывают слоем глины для предотвращения проникновения продуктов гниения в почву и грунтовые воды. После загрузки отходов его оснащают сетью вертикальных скважин, горизонтальных трубопроводов и насосным оборудованием для отвода жидких продуктов разложения мусора и сбора свалочного газа. Газ, образующийся в процессе разложения мусора, поступает по трубам в газоочистительный аппарат, где освобождается от частиц пыли и ненужных примесей (например, серы) и поступает на компрессор, после чего он готов к употреблению [10, 8].

Вне зависимости от типа производства биогаз можно различными способами преобразовать в биометан — полный аналог природного газа — и использовать как ценный местный источник энергии и тепла. При этом существуют сопутствующие потенциальные выгоды в виде продажи излишков энергии в сеть. Тем самым решается проблема утилизации отходов и снижения расходов на эти цели. Кроме того, создаётся замкнутый цикл производства, что особенно актуально не только для сельскохозяйственных, но и мусороперерабатывающих предприятий. Очищенный до



**Рис. 2.** Объем производства биогаза в странах ЕС  
Источник: [17].



**Рис. 3.** Количество биогазовых станций в странах ЕС в зависимости от вида обрабатываемого сырья  
Источник: [18].

биометана газ также можно передавать в трубопроводную сеть и далее потреблять наравне с природным газом (рис. 1).

Однако в России главное преимущество биогаза состоит не в возможности его использования в качестве дополнительного энергоресурса, а в том, что с его помощью вместе с этим можно решать экологические проблемы. Неконтролируемо выделяемый в атмосферу свалочный газ — серьезная угроза для человека и окружающей среды. Кроме того, с ним связаны высокие риски возгорания. Поэтому сбор и утилизация свалочного газа относят к наиболее эффективным способам борьбы с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу.

На протяжении последних пяти лет биогаз среди других энергоресурсов стабильно занимает третье место в мире по темпам роста производства. В 2017 г. они составили 11.9%, данные на 2018 г. свидетельствуют о сохранении динамики. Крупнейшими производителями биогаза остаются Китай, Германия, США, Италия и Великобритания, на которые приходится почти 80% мировых объемов ценного ресурса. Доля биогаза в генерации электроэнергии в 1990–2017 гг. выросла с 0.3 до 3.0%. Объемы производства достигли 81.4 ТВт·ч, а установленная мощность — 14.7 ГВт. Лидирующие позиции занимают Германия (34.3 ТВт·ч), США (12.5), Италия (8.3) и Великобритания (7.7) [15].

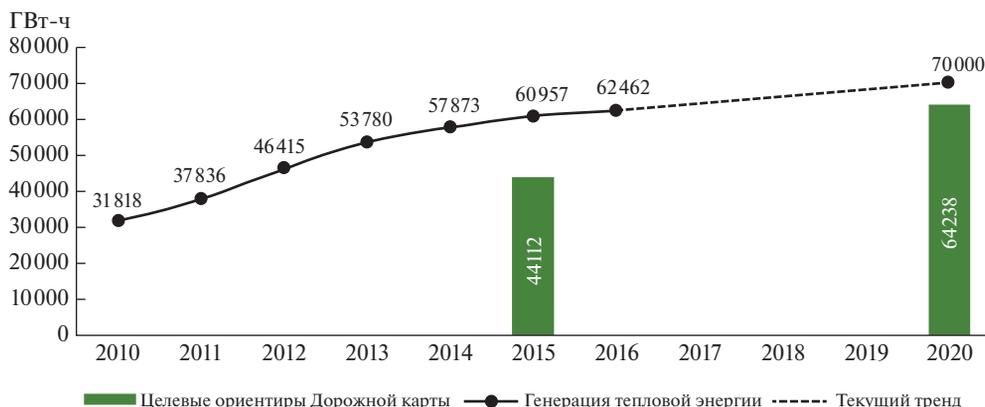


Рис. 4. Сравнение текущего тренда генерации электроэнергии из биогАЗа с целевыми ориентирами National Renewable Energy Action Plan

Источник: [19].

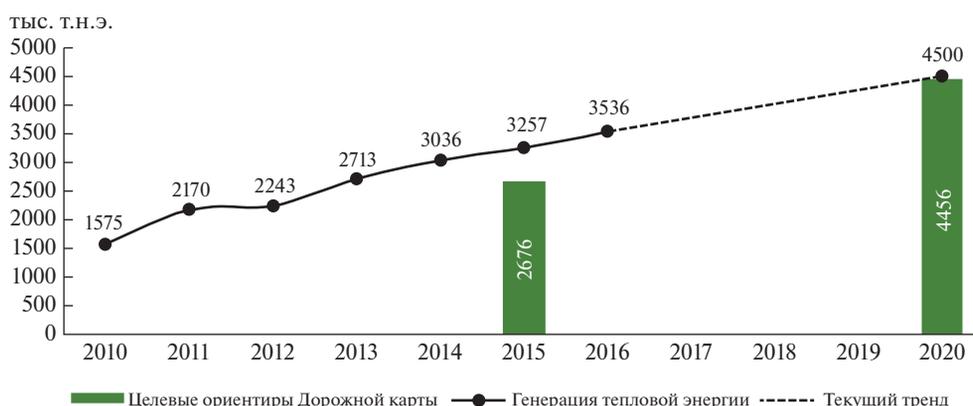


Рис. 5. Сравнение текущего тренда производства тепловой энергии из биогАЗа с целевыми ориентирами National Renewable Energy Action Plan

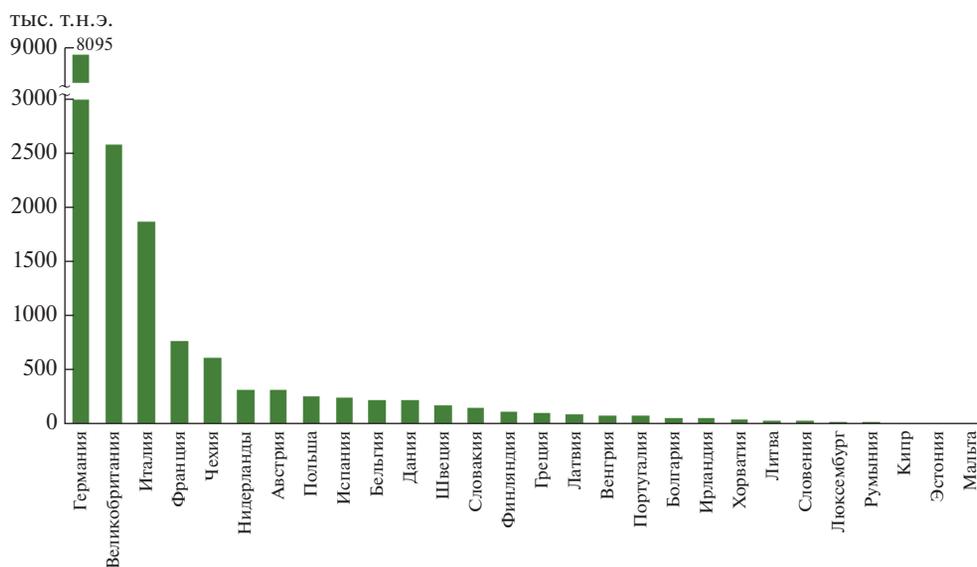
Источник: [19].

Производство биогАЗа наиболее устойчиво растёт в Европе. Объясняется это тем, что именно развитые страны ЕС стали пионерами внедрения программ перехода на альтернативные виды топлива и поддерживают инициативы, направленные на разработку новых технологий в этой сфере.

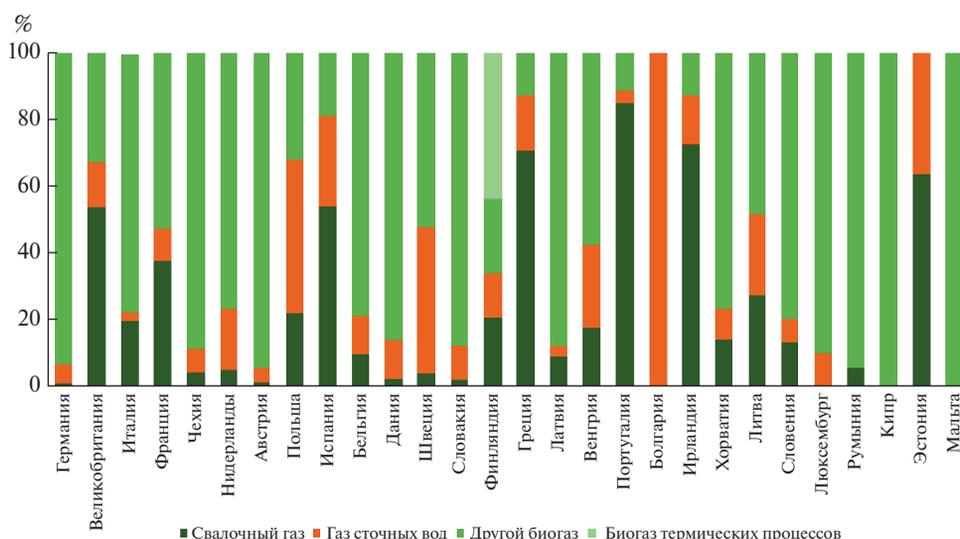
В 2016 г. общий объём произведённого в ЕС биогАЗа составил 16.6 млн т нефтяного эквивалента (н.э.) (рис. 2). Из них 9.2% приходится на биогАЗ сточных вод, 16% – на свалочный газ, подавляющая часть топлива была получена из органических отходов и энергетических культур в специальных установках (рис. 3). Однако в связи с административными ограничениями, регламентирующими использование энергетических культур для производства биогАЗа, темпы роста производства этого типа биогАЗа существенно замедлились, что в соответствии с целевыми ориентирами ЕС потребует увеличения его добычи на свалках и очистных сооружениях (рис. 4, 5).

Большая часть биогАЗа (62%) используется для производства электроэнергии, оставшиеся объёмы идут на генерацию тепла (27%) и производство биометана (11%). В 2016 г. производство электроэнергии из биогАЗа достигло 62.6 ТВт·ч, тепла – 694.8 тыс. т н.э. Количество биогАЗовых установок в Европе ежегодно растёт – в 2016 г. оно увеличилось до 17 662 единиц.

Как ни странно, биогАЗ способен поддерживать развитие рынка природного газа в Европе, несмотря на то, что считается его прямым конкурентом. Сегодня европейская энергополитика формирует у потребителей негативное отношение к ископаемым топливам, что позволяет в дальнейшем оправдывать крупные субсидии в возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Но на фоне развития сегмента биогАЗа пользователь станет получать из трубы не просто природный газ, а его смесь с биогАЗом, что будет способствовать решению экологических проблем, демон-



**Рис. 6.** Объёмы производства биогаза по странам ЕС  
Источник: [19].



**Рис. 7.** Сырьё для производства биогаза в странах ЕС в процентном отношении  
Источник: [19].

стрируя один из вариантов зелёной энергетики. В результате общественное восприятие газового топлива улучшится.

Германия как крупнейший производитель биогаза в ЕС вырабатывает почти 50% всех объёмов в Европе (рис. 6), причём преимущественно из энергетических культур и органических отходов. Именно на Германию приходится значительный рост биогазовой генерации — с 1990 г. этот сектор увеличивается на 21,5% в год, что и позволило стране стать крупнейшим в Организации экономического сотрудничества и развития

(ОЭСР) производителем биогаза (40,5%). Кроме того, в тройку лидеров входят Великобритания и Италия. В Великобритании более 50% биогаза получают из свалочного газа, в Италии он занимает второе место среди других источников. В таких странах, как Ирландия, Швейцария, Испания, Португалия, Греция и Эстония, биогазовое топливо тоже в приоритете (рис. 7).

В Европе для производства биогаза, помимо твёрдых коммунально-бытовых отходов муниципальных свалок, используют отходы фермерских хозяйств. Анаэробное сбраживание органических

**Таблица 2.** Преимущества использования биогаза для разных категорий потребителей

Сельскохозяйственные предприятия	Доступность сырья и возможность организовать замкнутый цикл производства для сокращения затрат на топливо и утилизацию отходов Возможность получения дополнительного дохода за счёт продажи излишков газа в сеть при условии близости газотранспортной сети Генерация электроэнергии и тепла для разных целей Топливо для сельскохозяйственного транспорта и техники
Промышленность	Сокращение затрат на топливо и утилизацию отходов Генерация электроэнергии для производственных процессов и собственных нужд Возможность получения дополнительного дохода за счёт продажи квот на выбросы в связи с сокращением эмиссии парниковых газов
Коммунально-бытовые предприятия	Генерация экологически чистой электроэнергии и тепла Сокращение затрат в системе управления отходами Генерация электроэнергии, необходимой для энергоснабжения заводов по переработке отходов и сточных вод
Домашние хозяйства	Автономный источник топлива в энергодефицитных регионах Прямое сжигание для приготовления пищи, освещения и обогрева помещений

отходов животного и растительного происхождения с последующим получением биогаза имеет ряд экологических и экономических преимуществ. Этот процесс предотвращает неприятные запахи, которые зачастую сопровождают фермерское производство, загрязнение воды и почвы, выбросы парниковых газов, сокращает затраты на вывоз и утилизацию отходов, энергоснабжение, создаёт возможность для организации замкнутого цикла производства и получения дополнительного дохода в случае продажи излишков энергии в сеть (табл. 2).

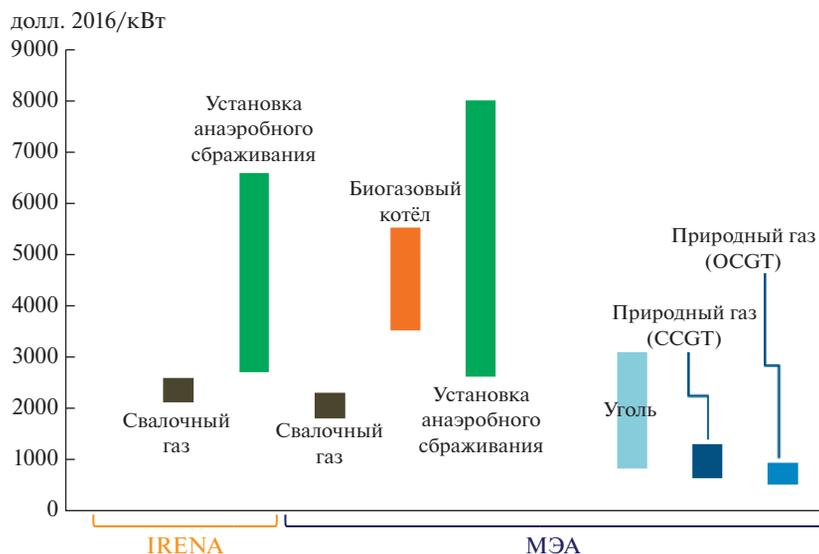
**Анализ экономической конкурентоспособности биогаза.** Перспективы развития биогаза во многом связаны с его способностью конкурировать с другими видами энергоресурсов. Себестоимость этого топлива зависит от затрат на производство, в том числе транспортировку сырья, расходов на его очистение до биометана (upgrading cost) и распределение/подключение (например, подачу в сеть). При использовании биогаза как источника энергии в стоимость включаются затраты на его производство и передачу электроэнергии. В случае привлечения для производства топлива энергетических культур значительную роль играют волатильность цен на сырьё и дальность транспортировки до биогазовой станции, что может увеличивать себестоимость продукта на 25–30%. Если применяется собственное сырьё в виде отходов, затраты на сбор, хранение и первичную обработку исключаются, так как эти процессы идут вне зависимости от последующего использования топлива. Более того, поскольку при работе с отходами решается и экологическая задача, в затраты можно включать экологическую субсидию, которая потребовалась бы для дегазации на мусорных полигонах. Транспортировка органиче-

ских отходов животного происхождения обычно нерентабельна вследствие высокой стоимости и низкой плотности энергии из-за большого процента содержания воды. Себестоимость биогаза, произведённого на твёрдых и жидких органических отходах, составляет от 0.22 до 0.39 долл./м<sup>3</sup>, тогда как при производстве на промышленных отходах она колеблется от 0.11 до 0.50 долл./м<sup>3</sup> [23]. Значительную роль играет масштаб установки — чем она больше, тем меньше капитальные и эксплуатационные затраты.

Общие капитальные затраты<sup>1</sup> на установку анаэробного сбраживания варьируются от 3500 до 5000 долл. за м<sup>3</sup>/ч в зависимости от размера био-реактора [25]. Инвестиционные затраты на трансформацию биогаза в биометан составляют от 1950 до 2600 долл. за м<sup>3</sup>/ч для установок мощностью более 800–1000 м<sup>3</sup>/ч необработанных газов. Для установок меньшего масштаба издержек значительно больше [23]. На рисунке 8 показан диапазон средних капитальных затрат для различных типов биогазовых установок в сравнении с двумя типами традиционных установок на природном газе и угольной станцией.

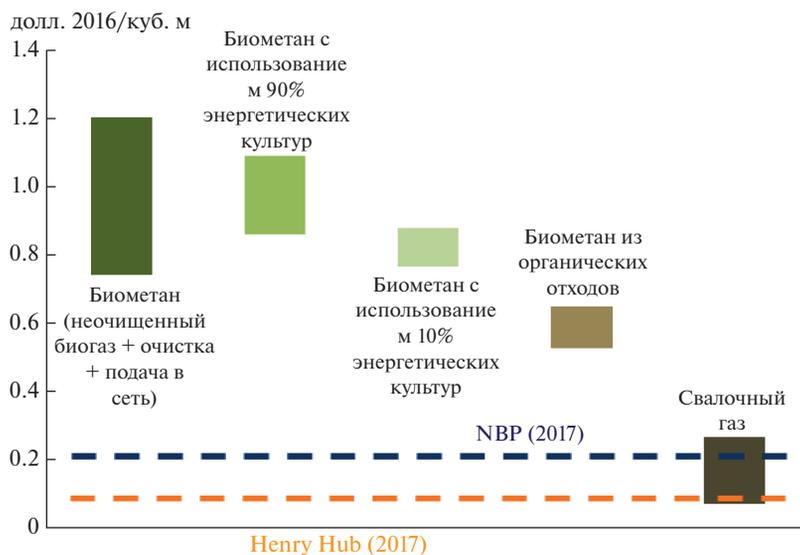
Расходы на очистку и модернизацию загрязнённого биогаза зависят от примесей, образующихся в результате использования исходного сырья и размеров блока для удаления загрязнений. Маломасштабные заводы по производству биогаза мощностью около 100 м<sup>3</sup>/ч тратят на очистку от 1 до 1.55 долл./м<sup>3</sup>. Если говорить о конкуренции биогаза с природным газом, то его главное преимущество — в цене [23]. Для сравнения: диапа-

<sup>1</sup> Капитальные затраты (capital expenditures – CAPEX) — затраты, связанные с приобретением или модернизацией основных средств — зданий, сооружений, оборудования.



**Рис. 8.** Диапазон средних капитальных затрат для электрогенерирующих биогазовых установок и станций на ископаемых топливах

*Источник:* составлено авторами по данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) [26] и Международного энергетического агентства (МЭА) [25].



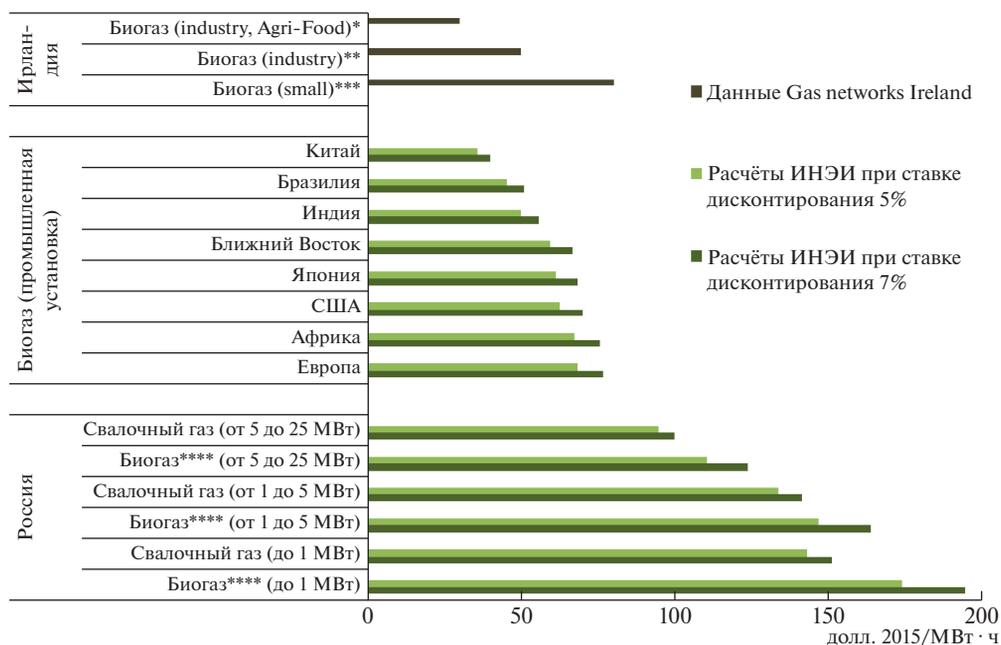
**Рис. 9.** Затраты на производство различных типов биогаза в сравнении с ценой природного газа на площадках Henry Hub (США) и NBP (Великобритания) в 2017 г.

*Источник:* составлено авторами по данным Международного энергетического агентства (МЭА) [27].

зон биржевых цен на природный газ на основных торговых площадках США и Европы в 2017 г. составлял 0.10–0.21 долл./м<sup>3</sup>. На рисунке 9 показаны затраты на производство биогаза, очищенного до биометана, включая поставку в сеть, и на неочищенный био- и свалочный газ в сравнении с ценой природного газа на биржах США и Европы. Наиболее конкурентоспособным оказался газ, произведённый на свалках, поскольку в его

себестоимость не входят затраты на сырьё и транспортировку (как правило, он используется вблизи мест производства).

Во многих странах мира биогаз уже нашёл свою нишу и становится быстрорастущей отраслью, но в России другие условия конкуренции, поэтому важно понимать, насколько зарубежный опыт применим у нас.



**Рис. 10.** Приведённая стоимость электроэнергии, выработанной на биомассе и биогазовых установках  
*Примечание:* для расчёта стоимости электроэнергии на станциях в России использованы предельные капитальные и операционные затраты по тарифам электроэнергии, установленным распоряжением Правительства РФ от 8 января 2009 г. № 1-р (последняя редакция № 568-р от 31 марта 2018 г.).

\*Станция промышленного масштаба на сельскохозяйственной ферме (анаэробное сбраживание агропродовольственных отходов)

\*\*Станция промышленного масштаба на сельскохозяйственной ферме (анаэробное сбраживание – трава)

\*\*\*Станция малого размера на сельскохозяйственной ферме (анаэробное сбраживание – сточные воды и трава)

\*\*\*\*К биогазу относится газ, произведённый на отходах животного происхождения

*Источник:* составлено и рассчитано авторами по данным Международного энергетического агентства (МЭА) [28], Информационного агентства Gas Networks Ireland [29], распоряжений Правительства РФ [30].

**Возможности и ограничения производства биогаза в России.** В нашей стране установлены предельные капитальные и операционные затраты<sup>2</sup> на производство биогаза. Как показывает анализ, цена производимой на их основе электроэнергии находится на уровне мировых реальных затрат. Из приведённых на рисунке 10 данных следует, что цена электроэнергии на биогазе в Европе ниже, чем установленная в России, за счёт существенных субсидий, предоставляемых государством. Так, в 2015 г. общая сумма выделенных для станций на биогазе и биомассе средств составила 2264 млн евро, что на 22.4% больше, чем в 2009 г. (рис. 11). Показатель среднего уровня поддержки в расчёте на МВт · ч увеличился с 74 до 90 евро/МВт · ч.

Сегодня в России действуют две станции на биогазе – “Лучки” и “Байцуры” (Белгородская

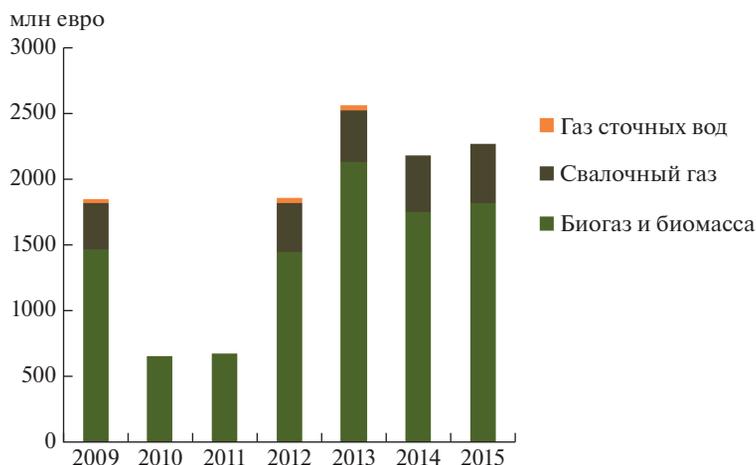
область) общей установленной мощностью 4.1 МВт [32], производящие электрическую и тепловую энергию, и одна станция активной дегазации мусорного полигона с энергетическим блоком мощностью 2.4 МВт [33]. “Лучки” и “Байцуры”, будучи составной частью животноводческих комплексов, в качестве сырья используют органические отходы своих предприятий. При этом в стране планируется построить сеть биогазовых станций и увеличить их совокупную мощность до 10 МВт [34].

Напомним, что в Российской Федерации установлены максимально допустимые (предельные) объёмы капитальных, а также постоянных<sup>3</sup> и переменных<sup>4</sup> эксплуатационных затрат для каждого типа станций на возобновляемых источниках

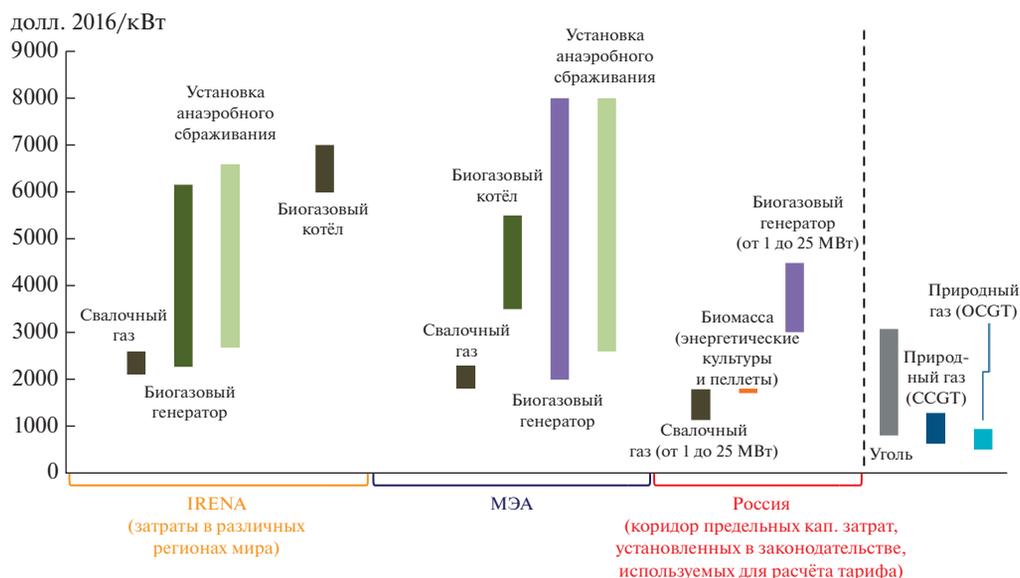
<sup>2</sup> Операционные затраты (operational expenditures – ОПЕХ) – затраты, связанные с проведением за определённый период времени финансовых, производственных и хозяйственных операций. Они включают расходы на производство и реализацию продукции, административные и финансовые цели.

<sup>3</sup> Постоянные затраты – затраты, величина которых не зависит от объёмов производства. Они связаны с использованием зданий и сооружений, машин и производственного оборудования, арендой, капитальным ремонтом, административными расходами.

<sup>4</sup> Переменные затраты – это затраты, величина которых меняется в зависимости от объёма производства. К ним относятся затраты на сырьё, электроэнергию, вспомогательные материалы, оплату труда.



**Рис. 11.** Объём государственной поддержки для биоэнергетики в странах ЕС в 2009–2015 гг.  
*Источник:* составлено авторами по данным отчётов Совета европейских регуляторов энергетики (CEER) [31].



**Рис. 12.** Диапазон средних капитальных затрат для электрогенерирующих биогазовых установок и станций на ископаемых топливах

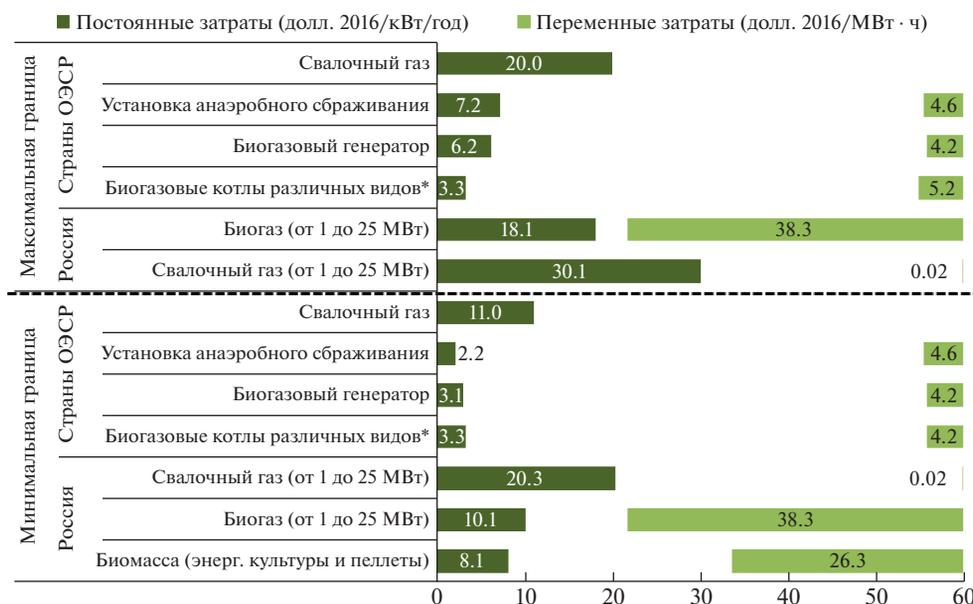
*Источник:* составлено авторами по данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) [26], Международного энергетического агентства (МЭА) [25] и распоряжений Правительства РФ [35].

энергии. Их учитывают при определении тарифов и предельных (минимальных и/или максимальных) уровней цен на электроэнергию, произведённую на станциях в 2014–2020 гг. [30]. В зависимости от мощности меняется и объём затрат на кВт, то есть чем больше станция, тем меньше затраты в расчёте на единицу. Для станций на биогазе мощностью от 5 до 25 МВт капитальные затраты в 2015 г. составляли 3008 долл./кВт, ожидалось, что к 2020 г. этот уровень снизится до 2897 долл./кВт. На станциях мощностью

5–25 МВт, производящих электроэнергию на свалочном газе, капитальные затраты не превышали 1139 долл./кВт<sup>5</sup>, а для станций мощностью менее 1 МВт – 1790 долл./кВт (рис. 12).

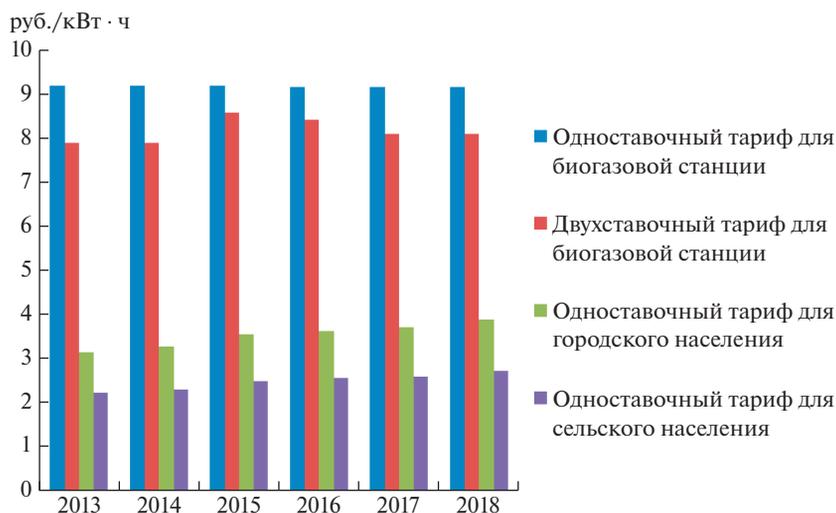
В странах, входящих в ОЭСР, коридор переменных операционных затрат биогазовых установок, кроме свалочного газа, составляет 4.2–5.2 долл./МВт · ч. В России приняты более высокие уровни предельных переменных опера-

<sup>5</sup> Здесь и далее денежные затраты приводятся в ценах 2016 г.



**Рис. 13.** Диапазон средних постоянных и переменных операционных затрат для электрогенерирующих биогазовых установок в 2015 г. Для станций в России указаны установленные Правительством РФ предельные операционные затраты

*Источник:* составлено авторами по данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) [26] и распоряжений Правительства РФ [35].



**Рис. 14.** Тарифы на электроэнергию в Белгородской области, установленные для станции на биогазе “Лучки” компании “АльтЭнерго”, городского и сельского населения в 2013–2018 гг.

*Источник:* составлено по данным Комиссии по государственному регулированию цен и тарифов в Белгородской области [42].

ционных затрат: в 2015 г. они находились в интервале 26–38 долл./МВт · ч, а к 2020 г. предполагалось увеличить расходы до 32–46 долл./МВт · ч. Уровень постоянных эксплуатационных затрат для свалочного газа в странах ОЭСР составляет 11–20 долл./кВт в год, тогда как для российских станций – 20–30 долл./кВт. Для прочих станций,

в том числе на биомассе, уровень постоянных операционных затрат в странах ОЭСР составляет 2–7 долл./кВт в год, российский показатель выше в несколько раз – 8–18 долл./кВт (рис. 13).

По данным ОАО “Корпорация Развитие” (Якутск), себестоимость произведённой электроэнергии на биогазовой станции составляет

7 руб./кВт · ч, между тем электроэнергия из традиционных источников энергии поступает по 4 руб./кВт · ч [36]. В России в качестве поддержки возобновляемых источников энергии Федеральным законом “Об электроэнергетике” для сетевых организаций установлено обязательство осуществлять компенсации потерь в электросетях в первую очередь за счёт электроэнергии, приобретаемой у подключённых к сетям этих организаций станций на ВИЭ [37]. Законом предписано регулирование на розничном рынке цен (тарифов) или их предельных минимальных/максимальных уровней на электроэнергию, произведённую на ВИЭ и приобретённую для компенсации сетевых потерь. Реализовывать электроэнергию по повышенному тарифу на розничном рынке может станция мощностью не более 25 МВт, получившая квалификационное свидетельство Ассоциации “НП Совет рынка”. После конкурсного отбора и включения в программу развития энергетики региона на основании выданного региональным органом свидетельства устанавливается специальный тариф и с сетевой организацией заключается договор о купле-продаже электроэнергии. На оптовых рынках к цене (тарифу) электроэнергии на ВИЭ прибавляется надбавка, которая рассчитывается, исходя из необходимости достижения целевых показателей по производству такой электроэнергии.

Для определения тарифа на электроэнергию, произведённую на возобновляемых источниках энергии, в том числе на установках по производству биогаза, применяется Методика Федеральной антимонопольной службы № 900 “Об установлении тарифа для генерирующих объектов ВИЭ, реализующих электроэнергию на розничных рынках, для компенсации потерь в сетях” [38]. В соответствии с этим документом долгосрочный тариф (цена) на электроэнергию до истечения срока возврата инвестиций станции на ВИЭ определяется методом долгосрочной индексации необходимой валовой выручки. Для станций, введённых в эксплуатацию до 1 января 2017 г., и объектов с истёкшим сроком возврата инвестиций используется метод экономически обоснованных расходов (затрат). При расчёте учитывается срок возврата инвестиций, равный 15 годам [38], объём эксплуатационных и капитальных издержек, которые не должны превышать предельные объёмы, установленные распоряжением Правительства РФ. При этом для изолированных энергосистем предельные уровни затрат не назначаются. Установленный тариф двухставочный, то есть включает ставку за 1 кВт · ч электроэнергии и 1 кВт мощности. Существенным препятствием для развития биогазовых станций в России стало ограничение, по которому максимальный объём поставленной электроэнергии на

ВИЭ не может превышать 5% от ежегодного объёма потерь в сетях региона [39].

В декабре 2012 г. для станции “Байцуры” Комиссия по регулированию цен и тарифов предложила установить тариф 6.5 руб./кВт · ч [40], при этом цена электроэнергии в 2013–2014 гг. составляла по одноставочному тарифу от 2.2 до 3.14 руб./кВт · ч. Приказами той же комиссии в Белгородской области ежегодно устанавливаются тарифы на электроэнергию. Одноставочный тариф для биогазовой станции в 2016–2018 гг. оставался неизменным и составлял 9.5 руб./кВт · ч, что значительно выше самых высоких одноставочных тарифов на электроэнергию для городского и сельского населения (рис. 14) [41].

Сравнение стоимости реально произведённой электроэнергии, а также установленных тарифов для биогазовой станции, включающих специальные надбавки, с тарифами для населения показывает, что для биогаза создан благоприятный тарифный регуляторный режим, но полноценно конкурировать на рынке он пока не может. Сегодня в Москве так называемая приведённая стоимость<sup>6</sup> электроэнергии, выработанной на биомассе и биогазовых установках, примерно в 2 раза превышает стоимость электроэнергии, выработанной на традиционных источниках. Поэтому, несмотря на прибыльность этого бизнеса, обеспеченную государственным регулированием, с точки зрения общей экономики электроэнергетического комплекса достаточно сложно обосновать целесообразность дальнейшего распространения биогазовых технологий. Но есть несколько экономических факторов, которые могли бы изменить ситуацию и существенно улучшить конкурентоспособность биогаза.

*Первый фактор.* Сравнение с аналогами в Европе и США показывает наличие потенциала для снижения затрат на 15–30%. Существенную роль тут могут сыграть инструменты государственной поддержки, в том числе меры налогового стимулирования, льготного кредитования, а также зарекомендовавшие себя за рубежом программы целевого субсидирования.

*Второй фактор.* Биогаз находится вблизи мест потребления, и его использование в периоды пиковых нагрузок позволило бы оптимизировать работу энергосистемы и сдавать электроэнергию по более высоким ценам. Причём это важно как для электроэнергетики, где введён дифференцированный многотарифный учёт, так и для газовой отрасли, где этого не сделано, но для обеспечения пиковых нагрузок ПАО “Газпром” приходится держать очень дорогой значительный запас мощ-

<sup>6</sup> Приведённая стоимость – ожидаемая будущая стоимость с позиции более раннего момента времени и учёта временной ценности денег.

ностей с кратковременным годовым использованием.

*Третий фактор.* Основным топливом для получения электроэнергии в России служит природный газ. По мере перехода на более сложные запасы неизбежен рост производственных затрат и повышение цен уже в 2020-х годах. Затраты на разработку новых проектов примерно в 2–3 раза выше, чем производственные затраты в предыдущие годы. На этом фоне рентабельность проектов биогаза будет улучшаться.

Таким образом, в России уже в ближайшие годы биогаз может стать конкурентоспособным. При этом его привлекательность будет возрастать по мере удаления от мест добычи газа из-за роста цен на электроэнергию. Особенно эффективен биогаз для покрытия пиковых нагрузок.

Ещё один сегмент применения биогаза — объекты децентрализованного энергоснабжения, где он конкурентоспособнее сжиженного природного и углеводородного газа. Большой интерес представляет использование органического сырья (как правило, в сельском хозяйстве) для экономики предприятий замкнутого цикла, которые являются и производителями, и потребителями биогаза [36].

Если иметь в виду, что выход газа на тонну ТКО составляет 120–200 м<sup>3</sup> [43], то общий объём производимых в Москве отходов при выходе 160 м<sup>3</sup>/т позволяет получать в среднем до 1.2 млрд м<sup>3</sup> газа, а в целом по России — до 9.6 млрд м<sup>3</sup>. Известно, что теплота сгорания биогаза в зависимости от процентного содержания метана варьируется в интервале 18–24 МДж/м<sup>3</sup>. Учитывая это, можно рассчитать, что использование биогаза в качестве энергоносителя, например в Московской области, позволит вырабатывать 3500–4400 МВт · ч электроэнергии в год [10].

Конечно, один из ключевых стимулов расширения перспектив применения биогаза связан с решением экологических проблем. Однако сегодня они имеют слабые экономические рычаги. В частности, расчёт платы за выбросы вредных веществ в атмосферу [43] в сравнении с утилизацией свалочного газа показывает, что за ущерб окружающей среде придётся заплатить сумму, эквивалентную 1% от стоимости производства электроэнергии на его основе. Скрытой субсидией, стимулирующей внедрение в работу с отходами современных технологий, может служить отсутствие штрафов за причинение ущерба окружающей среде. Например, в ситуации с мусорным полигоном “Кучино” в городском округе Балашиха (Московская область) с оператора взыскали штраф в размере 6.3 млрд руб. [45].

Таким образом, анализ показал, что развитию производства биогаза в России препятствуют:

- ограничение по возможностям поставок в сеть более 5% от потерь в электросистеме;
- отсутствие действенных федеральных и региональных программ поддержки и софинансирования, включая целевые экологические субсидии при решении проблем отходов;
- отсутствие комплексных целевых программ по сокращению выбросов и использованию отходов;
- ограниченный доступ к оборудованию в основном зарубежного производства;
- недостаточное информирование представителей бизнеса и населения о возможностях развития биогазовых производств и экологическом эффекте.

Тем не менее, несмотря на перечисленные трудности, можно сказать, что Россия обладает хорошим потенциалом для развития бизнеса на биогазе.

\* \* \*

Актуальность проблемы утилизации мусора в России диктует необходимость разработки и принятия новых решений и схем в этой сфере. Если сейчас активно не заняться данными вопросами, то уже в среднесрочной перспективе страна столкнётся с мусорными кризисами. Выбросы на мусорных полигонах в Подмоскovie в 2017–2018 гг. уже стали сигналом, свидетельствующим о пересечении красной линии, за которой прослеживается явное негативное влияние свалок на условия жизни и здоровье человека.

Полигоны захоронения отходов — один из наиболее распространённых и очевидных способов борьбы с мусором. Но схемы, по которым они функционируют в России, дают хорошую почву для критики. При создании полигонов часто не проводятся комплексные работы, позволяющие предотвратить заражение почвы, грунтовых вод, рассеивание отходов, сбор и отвод продуктов разложения. Процедуры дегазации осуществляются некачественно, побуждая жителей городов выходить на митинги и писать в различные инстанции многочисленные жалобы. Необходимо вводить новые требования к сбору, сортировке, переработке и утилизации отходов. При этом следует учитывать, что образование и выброс газа может превратиться в дополнительные возможности получения метана и электричества. Технологические решения, как и экономические регуляторные предпосылки в виде относительно благоприятных уровней предельных затрат, есть. Но мировой опыт показывает, что без целевой государственной заинтересованности и стимулирования у таких технологий мало шансов на успех.

Производство биогаза в развитых странах, в том числе в ЕС, осуществляется в промышленных масштабах благодаря значительной государственной поддержке и политике, направленной на декарбонизацию и решение вопросов утилизации отходов.

В нашей стране необходимо разработать стратегические государственные программы по борьбе с отходами и конкретные схемы утилизации мусора для типовых регионов.

Ещё одно перспективное направление в этой области – строительство биогазовых установок на территории агрокомплексов для решения проблем утилизации отходов свиноферм, снижения плодородности почв и загрязнения грунтовых вод. При этом для удалённых от централизованных систем энергоснабжения объектов биогазовая установка будет хорошим способом обеспечения источниками электричества и тепла.

Несмотря на использование очищенного биогаза (биометана) в транспортном секторе, ключевым моментом становится его применение в качестве источника электрогенерации. Сегодня в России подача биогаза в газотранспортную систему затруднена, поскольку необходимы специальные компрессоры, а также строительство дополнительных линий трубопроводов при удалённом производстве топлива, что не урегулировано на законодательном уровне.

Для успешной борьбы с мусором следует принять комплекс мер, продиктованных экологическими соображениями, но имеющих благодаря внедрению новых технологий экономическую обоснованность, в частности, необходимо:

- определить новые жёсткие целевые ориентиры по обязательной доле перерабатываемых отходов, снижению вредных выбросов и загрязнению территорий в процессе утилизации;
- ввести новые стандарты формирования полигонов захоронения отходов и использования свалочного газа;
- ввести требования по утилизации свалочного газа на уже заполненных полигонах, в том числе за счёт производства электроэнергии или метана, и рекультивации этих территорий;
- утвердить благоприятные нормативные параметры принятия в сеть электроэнергии и газа, произведённых в ходе утилизации отходов, включая экономические и объёмные критерии;
- разработать федеральные и региональные программы целевого стимулирования для современных решений по “умной” и экологически безопасной утилизации отходов, включая механизмы поддержки производства и использования биогаза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. На востоке Москвы второй день подряд превышен допустимый уровень сероводорода в воздухе // Интерфакс. 2 сентября 2017 г. <http://www.interfax.ru/moscow/577459> (дата обращения 04.04.2020).
2. В результате проверок по жалобам на загрязнение атмосферы на юго-востоке г. Москвы возбуждены административные дела // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии РФ. [http://www.mnr.gov.ru/press/news/v\\_rezultate\\_proverok\\_po\\_zhalobam\\_na\\_zagryaznenie\\_atmosfery\\_na\\_yugo\\_vostoke\\_g\\_moskvy\\_gosprirodnadzoro/](http://www.mnr.gov.ru/press/news/v_rezultate_proverok_po_zhalobam_na_zagryaznenie_atmosfery_na_yugo_vostoke_g_moskvy_gosprirodnadzoro/) (дата обращения 04.04.2020).
3. Экологическое состояние атмосферного воздуха в городе Москве и Московской области. Справка от 10.12.2017 // Официальный сайт МЧС России. <http://www.mchs.gov.ru/operationalpage/digest/item/33443210/> (дата обращения 04.04.2020).
4. Школьники пострадали в Волоколамске из-за выброса газа на свалке “Ядрово” // Ведомости. 21 марта 2018 г. <https://www.vedomosti.ru/politics/articles/2018/03/21/754434-shkolniki-postradali-yadrovo> (дата обращения 04.04.2020)
5. Федеральный классификационный каталог отходов. <http://www.fkko.ru/fkko?title=&code=&page=6> (дата обращения 26.10.2019).
6. *Мирошниченко И.В., Линднер Й.Ф.* Утилизация отходов животноводства и птицеводства с получением биогаза в условиях Белгородской области России // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 2(10). С. 95–100.
7. An Overview of Biogas Production: Fundamentals, Applications and Future Research // International Journal of Energy Economics and Policy. 2019. № 9(2). P. 105–115.
8. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов / Под ред. Я.И. Вайсмана. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012.
9. *Соколов Л.И., Кибардина С.М., Фламме С., Хазенкамп П.* Сбор и переработка твёрдых коммунальных отходов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2019.
10. *Соловьянов А.А.* Биогаз полигонов твёрдых коммунальных отходов: негативное влияние на окружающую среду // Знание. 2018. № 10-1(62). С. 61–72.
11. Biomethane: Status and Factors Affecting Market Development and Trade // IEA Bioenergy. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC91580> (дата обращения 26.10.2019).
12. Energy Access Outlook. 2017 // IEA <https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017> (дата обращения 04.04.2020).

13. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas> (дата обращения 26.10.2019).
14. Biogas – from refuse to energy // IGU. [https://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field\\_file/IGU%20Biogas%20Report%202015.pdf](https://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field_file/IGU%20Biogas%20Report%202015.pdf) (дата обращения 26.10.2019).
15. Renewables Information 2019: Overview // IEA. <https://www.iea.org/reports/renewables-information-overview> (дата обращения 05.04.2020).
16. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 // Official Journal of the European Union. 2009. № 5.6. P. 16–62. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>
17. The State of Renewable Energies in Europe // Eurobserv'er. <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2018/EurObservER-Annual-Overview-2017-EN-1.pdf> (дата обращения 26.10.2019).
18. Biogas and Biomethane // European Biogas Association. [https://www.entsog.eu/public/uploads/files/publications/Events/2017/tyn-dp/EBA\\_Biogas%20and%20biomethane-final.pdf](https://www.entsog.eu/public/uploads/files/publications/Events/2017/tyn-dp/EBA_Biogas%20and%20biomethane-final.pdf) (дата обращения 26.10.2019).
19. Biogas Barometer // Eurobserv'er. <https://www.eurobserv'er.org/biogas-barometer-2017/> (дата обращения 26.10.2019).
20. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe // European Commission. <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/circular-economy-communication.pdf> (дата обращения 26.10.2019).
21. Roadmap for a fossil fuel-free Stockholm 2050 // Planning & Environment Unit of the Environment and Health Administration in Stockholm. <http://www.stockholm.se/> (дата обращения 26.10.2019).
22. Denmark without waste: Recycle more – incinerate less // The Danish Government. [https://mfvm.dk/fileadmin/user\\_upload/MFVM/Miljoe/Ressourcestrategi\\_UK\\_web.pdf](https://mfvm.dk/fileadmin/user_upload/MFVM/Miljoe/Ressourcestrategi_UK_web.pdf) (дата обращения 26.10.2019).
23. Biogas in Denmark // Danish Energy Agency. <https://ens.dk/en/our-responsibilities/bioenergy/biogas-denmark> (дата обращения 26.10.2019).
24. Biogas for road vehicles: Technology brief 2017 // IRENA. <https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Biogas-for-road-vehicles-Technology-brief> (дата обращения 05.04.2020).
25. Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition // IEA-NEA [https://www.oecd-neo.org/jcms/pl\\_14756](https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_14756) (дата обращения 05.04.2020).
26. Renewable power generation cost in 2014 // IRENA. [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_re\\_power\\_costs\\_2014\\_report.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_re_power_costs_2014_report.pdf) (дата обращения 05.04.2020).
27. Biogas and Bio-syngas Production // IEA-ETSAP. [https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/P11\\_Biogas-Prod\\_ML\\_Dec2013\\_GSOK.pdf](https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/P11_Biogas-Prod_ML_Dec2013_GSOK.pdf) (дата обращения 26.10.2019).
28. World Energy Outlook 2016. Power Generation Assumptions // IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016> (дата обращения 05.04.2020).
29. Browne J. Creating a biomethane market in Ireland. [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Veranstaltungen/EBC\\_2017/Vortraege\\_EBC/panel1-3-browne.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Veranstaltungen/EBC_2017/Vortraege_EBC/panel1-3-browne.pdf) (дата обращения 26.10.2019).
30. Распоряжение Правительства РФ от 8 января 2009 г. № 1-п “Об утверждении Основных направлений государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года”. <http://government.ru/docs/20503/>
31. Status Review of Renewable Support Schemes in Europe 2008–2016 // CEER. <https://www.ceer.eu/> (дата обращения 26.10.2019).
32. Официальный сайт компании “АльтЭнерго”. <http://www.altenergo.su/biogas/> (дата обращения 26.10.2019).
33. Реестр квалифицированных генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии // Ассоциация “НП Совет рынка”. <https://www.npr-sr.ru/ru/market/vic/index.htm> (дата обращения 26.10.2019).
34. Официальный сайт компании “Региональный центр биотехнологий”. <http://www.biogas-rcb.ru/projects/> (дата обращения 26.10.2019).
35. Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2015 г. № 1472-р. <http://docs.cntd.ru/document/420291297> (дата обращения 26.10.2019).
36. Инвестиционный портал Белгородской области. <http://belgorodinvest.ru/ru/presscenter/massmedia/belgorod-biogaz-alternativnaya-energetika-budushhego/> (дата обращения 26.10.2019).
37. Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ (ред. от 29.12.2017) “Об электроэнергетике”. Ст. 41. Функционирование технологической инфраструктуры розничных рынков. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения 05.04.2020).
38. Методические указания по установлению цен (тарифов) и (или) предельных (минимальных и (или) максимальных) уровней цен (тарифов) на электрическую энергию (мощность), произведённую на функционирующих на основе использования ВИЭ энергии квалифицированных генерирующих объектах и приобретаемую в целях компенсации потерь в электрических сетях. <http://ppt.ru/docs/prikaz/fas/n-900-15-28665> (дата обращения 26.10.2019).

39. Постановление Правительства РФ от 23 января 2015 г. № 47 “О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электрической энергии”. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_174584](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174584) (дата обращения 05.04.2020).
40. Экономным дадут миллиарды // Российская газета. 10 декабря 2012 г. <https://rg.ru/2012/12/10/reg-cfo/energo.html> (дата обращения 26.10.2019).
41. Протокол заседания коллегии Комиссии по государственному регулированию цен и тарифов в Белгородской области № 31 от 22 декабря 2016 г. <https://kgrct.ru/activity/rabota-kollegii/protokoly-zasedaniy-kollegiy/2016/> (дата обращения 05.04.2020).
42. Комиссия по государственному регулированию цен и тарифов в Белгородской области. <https://kgrct.ru/> (дата обращения 26.10.2019).
43. *Климов Г.М.* Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения (свалочный биогаз, экологические проблемы использования). Н. Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2012.
44. Постановление Правительства РФ от 13 сентября 2016 г. № 913 (ред. от 29.06.2019) “О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах”. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_204671/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/) (дата обращения 05.04.2020).
45. Воробьев заявил о взыскании 6.3 млрд руб. ущерба с полигона “Кучино” // РБК. 6 мая 2018 г. <https://www.rbc.ru/society/06/06/2018/5b1803a79a794700e2e1332f?from=main> (дата обращения 09.07.2020).