

ISSN 0869-5873 (Print)
ISSN 3034-5200 (Online)



Российская Академия Наук

2026, том 96, номер 4

Апрель



**ВЕСТНИК
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК**

**HERALD
OF THE RUSSIAN
ACADEMY OF SCIENCES**



НАУКА

— 1727 —

ВСЕПРЕВЛАДШИИ ДЕРЖАВЫ



ISSN 0869-5873 (Print)
ISSN 3034-5200 (Online)

Российская Академия Наук

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК / HERALD OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

Научный и общественно-политический журнал

2026 Том 96 № 4

Основан в 1931 г.
Выходит 12 раз в год

*Журнал издаётся под руководством
Президиума РАН*

*Главный редактор
В.Я. Панченко*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.В. Адрианов (ННЦМБ ДВО РАН, Владивосток, РФ), В.П. Анаников (ИОХ РАН, Москва, РФ), А.Л. Асеев (НГУ, Новосибирск, РФ),
А.Р. Бахтин (ЦЭМИ РАН, Москва, РФ), С.И. Безродных (ОМН РАН, Москва, РФ), В.В. Бражкин (ИФВД РАН, Троицк, РФ),
Ф.Г. Войтоловский (ИМЭМО РАН, Москва, РФ), А.В. Гавриленко (РНЦХ ИМ. АКАД. Б.В. ПЕТРОВСКОГО, Москва, РФ),
А.Д. Гвишиани (ГЦ РФ, Москва, РФ), Ю.Г. Горбунова (МГУ, Москва, РФ), В.И. Данилов-Данильян (ИВП РАН, Москва, РФ),
Л.М. Зелёный (ИКИ РАН, Москва, РФ), Н.А. Зиновьева (ФГБНУ “ФИЦ ВИЖ”, Подольск, РФ), Н.И. Иванова (ИМЭМО РАН, Москва, РФ),
В.С. Комлев (ИМЕТ РАН, Москва, РФ), С.Н. Кочетков (ИМБ РАН, Москва, РФ), С.В. Кривовичев (КНЦ РАН, Апатиты, РФ),
А.П. Кулешов (Сколтех, Москва, РФ), Ю.Ф. Лачуга (Отделение сельхознаук РАН, Москва, РФ), Я.П. Лобачевский (ФНАЦ ВИМ, Москва, РФ),
А.В. Лопатин (ПИН РАН, Москва, РФ), Г.Г. Матишов (ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, РФ), А.М. Молдован (ИРЯ РАН, Москва, РФ),
О.С. Нарайкин (НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, РФ), В.В. Наумкин (ИВ РАН, Москва, РФ), С.А. Недоспасов (ИМБ РАН,
Москва, РФ), А.Д. Некипелов (МГУ, Москва, РФ), Р.И. Нигматулин (ИО РАН, Москва, РФ), Н.Э. Нифантьев (ИОХ РАН, Москва, РФ),
М.А. Островский (ИБХФ РАН, Москва, РФ), В.В. Полонский (ИМЛИ РАН, Москва, РФ), И.В. Решетов (Первый МГМУ
им. И. М. Сеченова, Москва, РФ), Г.Н. Рыкованов (ФГУП РЯЦ–ВНИИТФ, Снежинск, РФ), А.В. Сиринов (СПБИИ РАН,
Санкт-Петербург, РФ), В.А. Соيفер (Самарский университет, Самара, РФ), О.Н. Соломина (ИГ РАН, Москва, РФ),
Г.Т. Сухих (НМИЦ АГП им. В.И. Кулакова, Москва, РФ), И.А. Тайманов (ИМ СО РАН, Новосибирск, РФ), В.А. Тишков (ИЭА РАН,
Москва, РФ), В.А. Ткачук (МГУ, Москва, РФ), А.В. Торкунов (МГИМО МИД России, Москва, РФ), И.В. Тункина (Архив РАН,
Санкт-Петербург, РФ), М.А. Федонкин (ГИН РАН, Москва, РФ), Т.Я. Хабриева (ИЗиСП, Москва, РФ), В.Ю. Хомич (ИЭЭ РАН,
Санкт-Петербург, РФ), В.И. Цетлин (ИБХ РАН, Москва, РФ), В.А. Черешнев (ИИФ УрО РАН, Екатеринбург, РФ),
М.Ф. Черныш (ФНИСЦ РАН, Москва, РФ), В.П. Чехонин (РАН, Москва, РФ), А.П. Шкуринов (МГУ, Москва, РФ),
И.А. Щербаков (ИОФ РАН, Москва, РФ), А.В. Юревич (ИП РАН, Москва, РФ)

*Заместитель главного редактора
Г.А. Заикина*

*Заведующая редакцией
О.Н. Смола*

Адрес редакции: 119071, Москва, Ленинский пр-т, д. 14

E-mail: vestran@pran.ru, vestnik.ran@yandex.ru

Сайт: <https://heraldras.ru>

**Москва
ФГБУ “Издательство “Наука”**



ISSN 0869-5873 (Print)
ISSN 3034-5200 (Online)

Российская Академия Наук

VESTNIK ROSSIJSKOJ AKADEMII NAUK / HERALD OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

Scientific and Socio-Political Journal

2026 Vol. 96 No. 4

Founded in 1931
Published monthly

*The journal publication is guided
by the Presidium of the Russian Academy of Sciences*

Editor-in-Chief
V.Ya. Panchenko

EDITORIAL BOARD

A.V. Adrianov (NSCMB FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation), V.P. Ananikov (IOC RAS, Moscow, Russian Federation), A.L. Aseev (NSU, Novosibirsk, Russian Federation), A.R. Bakhtizin (CEMI RAS, Moscow, Russian Federation), S.I. Bezrodnykh (DMS RAS, Moscow, Russian Federation), V.V. Brazhkin (IHPP RAS, Troitsk, Russian Federation), V.P. Chekhonin (RAS, Moscow, Russian Federation), V.A. Chereshev (IIP UB RAS, Yekaterinburg, Russian Federation), M.F. Chernysh (FRSC RAS, Moscow, Russian Federation), V.I. Danilov-Danilyan (IWP RAS, Moscow, Russian Federation), M.A. Fedonkin (GIN RAS, Moscow, Russian Federation), A.V. Gavrilenko (PETROVSKY NRCS, Moscow, Russian Federation), Yu.G. Gorbunova (MSU, Moscow, Russian Federation), A.D. Gvishiani (GC RAS, Moscow, Russian Federation), N.I. Ivanova (IMEMO RAS, Moscow, Russian Federation), T.Ya. Khabrieva (ILCL RAS, Moscow, Russian Federation), V.Yu. Khomich (IEE RAS, Saint Petersburg, Russian Federation), S.N. Kochetkov (IMB RAS, Moscow, Russian Federation), V.S. Komlev (IMET RAS, Moscow, Russian Federation), S.V. Krivovichev (KSC RAS, Apatity, Russian Federation), A.P. Kuleshov (Skoltech, Moscow, Russian Federation), Yu.F. Lachuga (Division of Agricultural Sciences RAS, Moscow, Russian Federation), Ya.P. Lobachevsky (FNAC VIM, Moscow, Russian Federation), A.V. Lopatin (PIN RAS, Moscow, Russian Federation), G.G. Matishov (SSC RAS, Rostov-on-Don, Russian Federation), A.M. Moldovan (IRYa RAS, Moscow, Russian Federation), O.S. Naraikin (NRC "Kurchatov Institute", Moscow, Russian Federation), V.V. Naumkin (IOS RAS, Moscow, Russian Federation), S.A. Nedospasov (IMB RAS, Moscow, Russian Federation), N.E. Nifantiev (IOC RAS, Moscow, Russian Federation), R.I. Nigmatulin (IO RAS, Moscow, Russian Federation), A.D. Nekipelov (MSU, Moscow, Russian Federation), M.A. Ostrovsky (IBCP RAS, Moscow, Russian Federation), V.V. Polonsky (IMLI RAS, Moscow, Russian Federation), I.V. Reshetov (First MSMU named after I.M. Sechenov, Moscow, Russian Federation), G.N. Rykovanov (FSUE RFNC-VNIITF, Snezhinsk, Russian Federation), I.A. Shcherbakov (GPI RAS, Moscow, Russian Federation), A.P. Shkurinov (MSU, Moscow, Russian Federation), A.V. Sirenov (SPb FRC RAS, Saint Petersburg, Russian Federation), V.A. Soifer (Samara University, Samara, Russian Federation), O.N. Solomina (IG RAS, Moscow, Russian Federation), G.T. Sukhikh (NMRC OGP named after V.I. Kulakov, Moscow, Russian Federation), I.A. Taimanov (IM SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation), V.A. Tishkov (IEA RAS, Moscow, Russian Federation), V.A. Tkachuk (MSU, Moscow, Russian Federation), A.V. Torkunov (MGIMO MFA Russia, Moscow, Russian Federation), V.I. Tsetlin (IBCh RAS, Moscow, Russian Federation), I.V. Tunkina (Archives of the RAS, Saint Petersburg, Russian Federation), F.G. Voitovsky (IMEMO RAS, Moscow, Russian Federation), A.V. Yurevich (IP RAS, Moscow, Russian Federation), L.M. Zelenyi (SRI RAS, Moscow, Russian Federation), N.A. Zinovieva (FGBSI "FRC VIZh", Podolsk, Russian Federation)

Deputy Editor-in-Chief
G.A. Zaikina

Editorial Manager
O.N. Smola

Address: Leninsky Prospekt, 14, Moscow, 119071 Russia

E-mail: vestran@pran.ru, vestnik.ran@yandex.ru

Website: <https://heraldras.ru>

Moscow
"Nauka" Publishers"

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК /
HERALD OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, 2026, том 96, № 4

Апрель

Общее собрание членов РАН

“Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации”

- Приветствия участникам Общего собрания членов РАН 295
- Участие Российской академии наук в научно-технологическом развитии страны
Доклад президента РАН академика РАН Г.Я. Красникова 299
- Космические технологии – ключ к развитию России
С.Л. Чернышев, А.А. Петрукович 304
- Биобанкирование – локомотив развития наук о жизни
О.М. Драпкина, М.А. Пирадов, А.Н. Мешков, А.И. Ершова, А.Л. Борисова, М.С. Покровская, А.Ю. Ефименко, В.В. Глинкина, В.С. Сухоруков, С.Н. Иллариошкин 314
- О национальном проекте технологического лидерства “Новые атомные и энергетические технологии”
С.Н. Калмыков 332
- Влияние изменения климата на ареал возделывания основных сельскохозяйственных культур в Российской Федерации
В.М. Лукомец, Л.А. Беспалова 338
- Научно-технологический прогноз как основа национальной стратегии социально-экономического развития
Б.Н. Порфирьев, А.А. Широ, Е.Б. Ленчук 346
- От технологической независимости к технологическому лидерству в химической отрасли
А.Л. Максимов 357
- Мониторинг и прогнозирование изменений климата в целях устойчивого развития России – ВИП ГЗ “Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ”
С.К. Гулёв, А.С. Грицун, В.М. Катцов, Н.В. Лукина, Б.Н. Порфирьев, А.А. Романовская, А.А. Широ 369
- Уроки COVID-19 для будущих пандемий: от генетики возбудителя до управления эпидемическим процессом
В.Г. Акимкин, А.И. Аветисян, А.П. Гучанова, А.А. Дынкин, В.В. Зверев, М.П. Кирпичников, М.В. Ковальчук, В.В. Козлов, Е.Д. Свердлов, О.А. Свитич, В.И. Стародубов, Н.К. Янковский 385

Официальный отдел

- РАН объявляет конкурс на соискание Премии “За выдающиеся научные достижения” в 2027 году 406
-

CONTENTS

General Meeting of the Members of the Russian Academy of Sciences “The Russian Academy of Sciences in solving problems of scientific and technological development of the Russian Federation”

Greetings to the participants of the General Meeting of the Russian Academy of Sciences	295
Participation of the Russian Academy of Sciences in the country's scientific and technological development. <i>Report by the president of the RAS, academician of the RAS G.Ya. Krasnikov</i>	299
Space technologies – key to Russia's development <i>S.L. Chernyshev, A.A. Petrukovich</i>	304
Biobanking is the engine of life sciences development <i>O.M. Drapkina, M.A. Piradov, A.N. Meshkov, A.I. Ershova, A.L. Borisova, M.S. Pokrovskaya, A.Yu. Efimenko, V.V. Glinkina, V.S. Sukhorukov, S.N. Illarioshkin</i>	314
On the national technological leadership project “New Nuclear and Energy Technologies” <i>S.N. Kalmykov</i>	332
The impact of climate change on the cultivation areas of major agricultural crops in the Russian Federation <i>V.M. Lukomets, L.A. Bespalova</i>	338
Scientific and technological forecast as the basis of the national socio-economic development strategy <i>B.N. Porfiriev, A.A. Shirov, E.B. Lenchuk</i>	346
From technological independence to technological leadership in the chemical industry <i>A.L. Maksimov</i>	357
Monitoring and forecasting climate change for the goals of sustainable development of Russia – a critical innovative project of the national significance “Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances” <i>S.K. Gulev, A.S. Gritsun, V.M. Kattsov, N.V. Lukina, B.N. Porfiriev, A.A. Romanovskaya, A.A. Shirov</i>	369
COVID-19 lessons for future pandemics: from pathogen genetics to epidemic process management <i>V.G. Akimkin, A.I. Avetisyan, A.P. Guchanova, A.A. Dynkin, V.V. Zverev, M.P. Kirpichnikov, M.V. Kovalchuk, V.V. Kozlov, E.D. Sverdlov, O.A. Svitich, V.I. Starodubov, N.K. Yankovsky</i>	385

Official Section

The Russian Academy of Sciences announces a competition for the 2027 prize “For Outstanding Scientific Achievements”	406
---	-----

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ПРИВЕТСТВИЯ УЧАСТНИКАМ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ Д.Н. ЧЕРНЫШЕНКО

Уважаемые члены Академии наук, участники Общего собрания, Президентом РФ В.В. Путиным поставлена национальная цель – достичь технологического лидерства России. В этой работе участвуют все уровни власти, деловые и научные круги.

В законе о бюджете на 2026 год объём госпрограммы научно-технологического развития составляет более 1.626 трлн рублей. Из них непосредственно на науку будет направлено почти 700 млрд рублей, что на 10% больше, чем в 2025 г. При этом расходы на прикладную науку увеличены на 25.9 млрд рублей, а на фундаментальную науку – на 37.5 млрд, на 12% больше, чем в прошлом году. Правительство продолжит поддерживать фундаментальную науку как основу достижения технологического лидерства. Я хочу поблагодарить лично Геннадия Яковлевича Красникова и коллектив академии за повышение эффективности реализации программы фундаментальных научных исследований.

Академия, являясь интеллектуальным центром российской науки, формирует базовые настройки государственного заказа на фундаментальные исследования. Укрепляется экспертная роль Российской академии наук. Только в 2025 г. РАН подготовила более 80 тысяч экспертных заключений, причём её поле деятельности распространилось и на грантовые инструменты благодаря сотрудничеству с Российским научным фондом и Российским фондом прямых инвестиций. С прошлого года академия проводит экспертизу научной деятельности образовательных организаций, подведомственных правительству.

Важно, что РАН теперь играет более активную роль в кадровых решениях и обеспечивает согласование кандидатур руководителей научных организаций. На встрече с участниками V Конгресса молодых учёных (26–28 ноября 2025 г.) наш президент отметил, что важно повышать роль научного сообщества в решении стратегических задач развития России.

Хочу выразить благодарность Научно-техническому совету Комиссии по НТР, который возглавляет Г.Я. Красников. Каждое её заседание обеспечено оперативным и качественным экспертным сопровождением. Важно, что секции НТС обеспечивают плотное взаимодействие с профильными секциями Российской академии наук. Благодаря этому ни одно ключевое решение Правительства РФ в сфере науки не принимается без участия академии.

В 2025 г. году НТС провёл экспертизу более 300 документов, в том числе паспортов национальных проектов по космосу и биоэкономике и материалов, связанных с мониторингом уже запущенных национальных проектов технологического лидерства. В очередной раз отмечу беспрецедентно высокий уровень взаимодействия правительства с Академией наук.

Нынешний год ознаменован важнейшей датой в истории нашей страны – 80-летием Великой Победы. Учёные под эгидой Академии наук всегда вставали плечом к плечу в самые ответственные для страны периоды. За вклад в Победу в Великой Отечественной войне более полутора тысяч советских учёных были удостоены государственных наград. Наша наука продолжает оставаться надёжной опорой армии и сегодня, в период проведения специальной военной операции.

В рамках шестой подпрограммы Программы фундаментальных научных исследований создаются научно-технические заделы для повышения обороноспособности нашей страны. С 2023 г. количество научных тем в этой области увеличилось более чем в 6.5 раза, а ежегодный объём финансирования – до более 5 млрд рублей.

Хочу высказать благодарность всем членам Российской академии наук за работу на благо нашего государства и поприветствовать всех избранных в этом году академиком и членов-корреспондентов РАН.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА ФЕДЕРАЦИИ ФС РФ К.И. КОСАЧЁВ

Уважаемые участники Общего собрания, прежде всего хотел бы от имени председателя Совета Федерации В.И. Матвиенко, от всех сенаторов поприветствовать это уважаемое академическое собрание, высший

орган Российской академии наук. Особо отмечу конструктивное взаимодействие, которое сложилось у академии и её институтов с верхней палатой Федерального Собрания. Искренне благодарен учёным за

действенную, активную поддержку, которую вы оказываете законодателям в их работе.

Уставом Российской академии наук предусмотрено экспертное научное обеспечение деятельности государственных органов. Это в полной мере затрагивает сферу нормотворчества, научное консультирование и экспертное сопровождение разработки нормативно-правовых актов, правовых концепций развития законодательства Российской Федерации. Лично я как гуманитарий-международник особо отмечу взаимодействие с Отделением социальных наук и международных отношений. Разумеется, мы прекрасно понимаем, что Российская академия наук, в свою очередь, имеет полное право рассчитывать на поддержку со стороны парламента.

В числе национальных целей развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года определено достижение технологического лидерства. Это общегосударственная задача, и мы сегодня понимаем, что от успеха на этом направлении зависит будущее нашей страны. К сожалению, в этом приходится убеждаться в буквальном смысле в боевых условиях, где технологии, скорость и гибкость в их разработке оказывают существенное влияние на ситуацию на поле боя, а в конечном итоге на международную политику и глобальное мироустройство. Амбициозная цель может быть достигнута, только

если начинать готовить специалистов буквально со школьной скамьи. Российская академия наук активно занимается экспертизой учебников, и налицо ощутимые успехи в этой работе. Совет Федерации держит эту важную тему в поле зрения. Понимаем, что российская наука, как и вся страна, сталкивается с трудностями и живёт сегодня в непростых условиях. Но не могут не впечатлять данные, представленные в аналитическом докладе о реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными.

Однако вызывает беспокойство снижение числа научно-исследовательских институтов, учёных, особенно молодых, защищённых кандидатских и докторских диссертаций. Тревожит и сохраняющееся отставание по объёму внутренних затрат на исследования и разработки. Мы внимательно ознакомились с предложениями академии относительно развития законодательства в сфере науки, в частности, по полномочиям РАН в области научной и научно-технической экспертизы, научно-методического руководства и в других чувствительных областях. Готовы работать с руководством Российской академии наук над этими вопросами и далее, всегда рады приветствовать ваши компетентные предложения в стенах Совета Федерации.

ПЕРВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ДУМЫ А.Д. ЖУКОВ

На протяжении всей своей истории Академия наук была и остаётся ключевым центром развития фундаментальной науки и поисковых исследований, интеллектуальным штабом нашей страны, где формируются важнейшие приоритеты творческой исследовательской деятельности. Благодаря работе членов академии в своё время удалось сформировать сильные, известные на весь мир научные школы, создать сеть передовых научных центров. И сегодня Российская академия наук продолжает пользоваться высочайшим авторитетом. Вопросы развития технологий, экономики, общества решаются при участии членов и экспертов РАН. Отмечу, что именно качественная, своевременная экспертная оценка становится залогом успеха в реализации государственных программ, отраслевых дорожных карт, многих других стратегических инициатив. Представители академии входят в комиссию Государственного совета по направлению «Технологическое лидерство». РАН играет важную роль в Научно-техническом совете при Комиссии по научно-технологическому развитию, который возглавляет академик Г.Я. Красников.

При участии НТС был подготовлен перечень приоритетных направлений научно-технологического развития и важнейших наукоёмких технологий, проведена экспертиза всех национальных проектов технологического лидерства. Академия активно участвует в экспертизе учебников, учебных пособий для школ. Благодаря обязательной экспертизе школьные учебники стали на-

много более достоверными, присутствующая в них информация научно обоснована и соответствует государственным образовательным стандартам и программам.

Недавно принят закон о совершенствовании структуры РАН, во исполнение поручения Президента, данного по итогам мероприятия, посвящённого трёхсотлетию академии. Законом в структуру РАН включён Российский центр научной информации, который содержит огромный массив исследовательских публикаций и других востребованных учёными данных, а также издательство «Наука». Так формируется единая база научных публикаций, исследований, обеспечиваются условия для поиска, обмена и распространения научной информации, для продвижения результатов отечественных учёных, для популяризации российской науки как в стране, так и за рубежом. В соответствии с указанием Президента РФ в отношении подведомственных Минобрнауки России домов учёных Государственной думой принята поправка в законодательство о создании условий сохранения данного имущества за РАН, чтобы исключить саму возможность отторжения этих объектов.

Считаю важным, что учёные задействованы в ключевых проектах по защите озера Байкал. РАН принимает активное участие в обсуждении соответствующего законопроекта, который, кстати, сегодня будет рассматриваться Государственной думой во втором чтении. Для усиления защиты экосистем озера предусмотрено, что проекты рубок в лесном фонде теперь

будут рассматриваться только при наличии положительного заключения РАН (если закон будет принят в таком виде, как он подготовлен).

Сегодня в повестке общего собрания членов РАН – научные доклады, посвящённые научно-технологическому развитию страны. По некоторым вопросам Государственная дума уже создала необходимую законодательную базу. Так, принят закон о биоресурсных центрах, биологических биоресурсных коллекциях, закон о технологической политике и многие другие.

Хотел бы подчеркнуть актуальность дальнейшего углубления взаимодействия Российской академии наук, депутатов и региональных властей.

Считаю очень важным придерживаться единой позиции при выработке государственных решений, реализации ключевых направлений развития отечественной науки, технологического сектора, создания условий для промышленного роста. Уверен, что консолидированными усилиями нам удастся укрепить технологический суверенитет и научный потенциал России.

МИНИСТР ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С.С. КРАВЦОВ

Хочу высказать слова благодарности Российской академии наук, всем членам академии за ту работу, которую вы ведёте и которая крайне актуальна для нашей страны.

Со своей стороны Министерство просвещения РФ – это тот фундамент, на котором основываются научные исследования, где растут будущие учёные, создаются образовательные программы. С 1 сентября все школы страны работают по единым федеральным программам базового и углублённого уровня, которые основаны на системе советского фундаментального образования. Надо сказать, что в рамках углублённого уровня количество часов по математике, например, в основной школе увеличено до восьми, это больше, чем было в советское время. Совместно с РАН создаются новые государственные учебники. К 1 сентября 2027 г. появятся базовые

учебники по математике, информатике, физике, химии, биологии. Важно, что материал учебников будет взаимоувязан, будут прослеживаться междисциплинарные связи.

Одно из значимых направлений взаимодействия министерства с Академией наук – базовые школы РАН. Мы обсуждали этот вопрос с президентом академии и убедились, что такие школы нужны. Министерство со своей стороны поддерживает это направление. В таких школах куются будущие квалифицированные кадры, в том числе для науки. Очень хотелось бы, чтобы всё больше школьников связывали своё будущее с наукой. А для этого важно поддерживать наших олимпийцев, победителей международных олимпиад. За последние пять лет российские участники завоевали в полтора раза больше международных золотых медалей, в том числе по математике, физике, химии.

МИНИСТР НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В.Н. ФАЛЬКОВ

Фокусировка государства на получении практических результатов от научно-исследовательской деятельности способствует формированию института квалифицированного заказчика, что предусмотрено ключевым документом, утверждённым Президентом РФ, – Стратегией научно-технологического развития. Реализацию этого инструмента предложено закрепить в новой редакции программы фундаментальных научных исследований. Это позволит ведущим компаниям реального сектора экономики принимать участие в формировании госзадания на проведение фундаментальных и ориентированных исследований научным институтам и университетам. Предполагается, что соответствующий проект распоряжения вскоре будет утверждён Правительством РФ. Проект подготовлен совместно с Академией наук и ориентирован на комплексную актуализацию программы фундаментальных научных исследований.

Хотел бы отметить, что в 2025 г. полномочия Российской академии наук существенно расширены в части реализации технологической политики. В соответствии с нормами Закона “О технологической политике” Академия наук осуществляет экспертизу перечня сквозных технологий, подготовку предложений для разработки среднесрочных и долгосрочных планов

развития технологий. Нельзя не обратить внимание на возрастающую актуальность технологий искусственного интеллекта в науке. Следует подчеркнуть важность плодотворного, взвешенного сотрудничества в наступающем году в этой сфере с академией как координатором фундаментальной науки.

Все ключевые инструменты поддержки исследовательских коллективов, научных институтов, университетов – в части, касающейся науки, – мы традиционно обсуждаем и с президентом, и с президиумом РАН, и с членами академии, несмотря на изменение формата национальных проектов.

Совместно с Академией наук удалось включить в бюджет на 2026–2028 гг. дополнительные средства на реализацию программы капитального ремонта научных организаций. В 2026 г. на эти цели предусмотрено более пяти миллиардов рублей с увеличением до десяти миллиардов рублей в 2028 и последующих годах. Этот системный программный инструмент – большое достижение. При этом продолжают действовать все предыдущие программы, а по целому ряду из них финансирование даже увеличено. Новый проект позволит комплексно решать накопившиеся проблемы с имущественным комплексом научных организаций.

РУКОВОДИТЕЛЬ ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА В.И. СКВОРЦОВА

Глубокоуважаемые члены Российской академии наук, позвольте от имени Федерального медико-биологического агентства поприветствовать всех участников Общего собрания. Сегодня перед нашей страной стоят важнейшие исторические задачи — не просто устоять и сохранить самое значимое в условиях беспрецедентного внешнего давления и специальной военной операции, но и обеспечить дальнейшее поступательное социально-экономическое развитие, что невозможно без обеспечения технологического суверенитета и технологического лидерства России. Это грандиозный общенациональный вызов, требующий консолидации усилий всего научного сообщества, всех научных и инженерных школ на межотраслевом, межведомственном и междисциплинарном уровне.

Ключевую роль в этой консолидации играет Российская академия наук, объединяющая лидеров ведущих научных школ нашей страны, способная приоритизировать и координировать наиболее перспективные направления развития, способствовать созданию отечественных оригинальных решений, конкурентоспособных в глобальном масштабе, определяющих технологическое лидерство нашей страны.

Работа Федерального медико-биологического агентства основана на создании междисциплинарных научно-технологических кластеров под конкретную целевую задачу — обеспечение системы согласованных во времени исследований и разработок до конечного результата и его внедрения, что позволяет существенно сократить продолжительность инновационной цепочки и обеспечить экономический выигрыш. Именно поэтому для Федерального медико-биологического агентства так важна органичная связь и стратегическое партнёрство с Российской академией наук.

Агентство включено в комплексные межотраслевые исследования и разработки в области радиобиологии и радиационной безопасности, ядерной медицины и радиофармацевтики, физико-химической медицины и биологического приборостроения, иммунологии, системной и синтетической биологии, биологической безопасности, космоса и глубоководных исследований, персонализированной и кибермедицины. Одним из механизмов достижения консолидации позиций представителей разных научных дисциплин и формирования межотраслевых творческих научных коллективов, кластеров, работающих на основе единого целеполагания и сложной многомерной логистики, стало создание при президиуме РАН специализированных

научно-технических, экспертных и координационных советов по самым важным и требующим всестороннего внимания проблемам.

Специалисты агентства активно работают в составе советов по биомедицинской физике и инженерии, наукам о жизни, космосу, персонализированной медицине и другим. По инициативе ФМБА в конце 2023 г. при президиуме РАН был создан Межведомственный научный совет по нейронаукам, призванный стать важным механизмом обеспечения ускоренного развития наиболее востребованных инновационных нейротехнологий и эффективного их использования в практике.

В настоящее время внедрение таких технологий имеет глубочайшее социальное значение. В условиях ведения специальной военной операции оно помогает нам в решении одной из наиболее актуальных задач — возвращения человеку утраченных функций и расширения его психических и физических возможностей, что особенно важно для наших защитников Отечества. В начале 2024 г. на Форуме будущих технологий это подчеркнул Президент Российской Федерации В.В. Путин и дал прямое поручение развивать нейротехнологии с особым акцентом на создание очеловеченных бионических протезов и других продуктов кибернетической медицины.

Благодаря поддержке Правительства РФ, Администрации Президента в рекордные сроки на базе Федерального центра мозга и нейротехнологий ФМБА был создан специализированный Центр кибернетической медицины и нейропротезирования, который объединил большую команду биофизиков, инженеров, программистов, специалистов по информационным технологиям и искусственному интеллекту, микроэлектронике, материаловедов, нейрохирургов, реабилитологов, психологов. Активная работа данного центра совместно с Межведомственным советом по нейронаукам РАН позволит придать мощный импульс развитию новой востребованной и высокотехнологичной отрасли.

Считаю, что повестка сегодняшнего Общего собрания РАН как нельзя лучше отражает ключевой вызов современности и определяет вектор для всех нас — стремление к интеллектуальной и стратегической синергии, коллегиальности, истинной междисциплинарности, к объединению нашего практического опыта. Перед нами стоит общая стратегическая цель, и для её достижения Федеральное медико-биологическое агентство в тесном взаимодействии с Российской академией наук ориентировано на разработку и внедрение прорывных решений в наиболее перспективных и критически значимых наукоёмких областях.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040014

Оригинальная статья

УЧАСТИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
В НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ СТРАНЫ
ДОКЛАД ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА РАН Г.Я. КРАСНИКОВА

Российская академия наук, Москва, Российская Федерация

**E-mail: g_krasnikov@pran.ru*

Аннотация. Доклад посвящён вкладу Российской академии наук в укрепление научно-технологической мощи страны. Основное внимание уделено Программе фундаментальных научных исследований, в рамках которой формируется тематика перспективных изысканий, в том числе с учётом запросов квалифицированных заказчиков. Раскрыт механизм формирования госзаданий академических институтов, а также взаимодействия Российской академии наук с правительственной Комиссией по научно-технологическому развитию России, её Научно-техническим советом. Подчёркнуто, что сейчас ведётся большая работа по синхронизации научной и технологической политики. Отмечена растущая роль тематических и региональных отделений РАН в реализации целей научно-технологического развития страны. Затронуты вопросы совершенствования структуры РАН.

Ключевые слова: Российская академия наук, научно-технологическое развитие, Программа фундаментальных научных исследований, Комиссия по научно-технологическому развитию России, Научно-технический совет, проекты технологического лидерства

Ссылка для цитирования: Красников Г.Я. Участие Российской академии наук в научно-технологическом развитии страны. Доклад президента РАН академика РАН Г.Я. Красникова. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 299–303. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040014>

Поступил в редакцию 15.01.2026

После доработки 15.01.2026

Принят к публикации 25.02.2026

КРАСНИКОВ Геннадий Яковлевич – академик РАН, президент РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: g_krasnikov@pran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2441-7455>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040014

Original Article

**PARTICIPATION OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES IN THE
COUNTRY'S SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT**

REPORT BY THE PRESIDENT OF THE RAS, ACADEMICIAN OF THE RAS

*G.Ya. KRASNIKOV**

Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**E-mail: g_krasnikov@pran.ru*

Abstract. This report examines the Russian Academy of Sciences' contribution to strengthening the country's scientific and technological capabilities. It focuses on the Fundamental Scientific Research Program, which defines the topics for advanced research, including those in response to requests from qualified stakeholders. It describes the mechanism for formulating state assignments for academic institutes, as well as the Russian Academy of Sciences' interaction with the Government Commission for Scientific and Technological Development of Russia and its Scientific and Technical Council. It emphasizes the significant work currently underway to synchronize scientific and technological policy. The growing role of the RAS's thematic and regional branches in achieving the country's scientific and technological development goals is highlighted. Issues related to improving the structure of the Russian Academy of Sciences are addressed.

Keywords: Russian Academy of Sciences, scientific and technological development, Fundamental Scientific Research Program, Commission for Scientific and Technological Development of Russia, Scientific and Technical Council, technological leadership projects

For Citation: Krasnikov G.Ya. Participation of the Russian Academy of Sciences in the country's scientific and technological development. Report by the president of the RAS, academician of the RAS G.Ya. Krasnikov. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 299–303. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040014>

Received January 15, 2026

Revised January 15, 2026

Accepted February 25, 2026

KRASNIKOV Gennady Ya. — Academician of the Russian Academy of Sciences, President of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: g_krasnikov@pran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2441-7455>.

Нынешняя научная сессия продолжает тему участия Российской академии наук в научно-технологическом развитии нашей страны. Эту тему мы уже обсуждали на предыдущих двух собраниях, разным её аспектам были посвящены заседания президиума Российской академии наук. Она также рассматривалась нашими тематическими и региональными отделениями, научными советами. Сегодня эта тема будет отражена в докладах, представленных Общему собранию.

Начну с выполнения поручений, утверждённых Общим собранием членов РАН в декабре 2024 г. Было сформулировано 17 поручений и рекомендаций, 16 из них выполнены. Одно поручение находится на постоянном исполнении и на контроле. Оно касается издания и распространения многотомной академической истории России, а также использования этого труда для создания учебников, брошюр по актуальным вопросам отечественной истории. Уже выпущено 10 из запланированных 30 книг. В настоящее время в редакции находятся ещё 10 книг. Этот вопрос мы держим на контроле.

Участие Российской академии наук в научно-технологическом развитии начинается с Программы фундаментальных научных исследований (ПФНИ). Одна из наших главных задач — сократить срок от получения результатов фундаментальных научных исследований до их внедрения.

В своём докладе на Общем собрании в мае прошлого года я поднимал вопрос о необходимости повышения эффективности реализации Программы фундаментальных научных исследований. Раньше мы составляли только перечень ожидаемых результатов по фундаментальным научным исследованиям, а научные организации, ориентируясь на него, фактически сами формулировали для себя государственное задание. Мы проводили только экспертизу таких заданий на предмет соответствия ожидаемых результатов этому перечню, и в 99% случаев подтверждали их. Это приводило к «островковости» фундаментальных научных исследований, что противоречит самому принципу развития фундаментальной науки широким фронтом.

Анализ выполнения программ в 2023 г. показал, что порядка 69% научных тем в рамках ПФНИ не были выбраны, по ним не велись исследования. Сложилась неудовлетворительная ситуация, которая не отвечала современным вызовам, стоящим перед страной. Мы провели большую работу, и в результате госзадание на 2026 г. на 75% включает темы, которые были нами сформированы в рамках ПФНИ. Причём эта цифра учитывает и те работы, которые ведутся на протяжении трёх лет. По новым исследованиям этот показатель вырос и уже составляет 87%, на 2027 г. мы ставим задачу приблизиться к 100% выбранных тем. Причём эта цифра запланирована с учётом востребованности, то есть с учётом запросов квалифицированных заказчиков.

Можно сказать, что сегодня мы уже перешли от проведения простой экспертизы госзадания к его непосредственному формированию. Изменён график подготовки государственного задания: к его формированию на 2027 г. академия приступила уже в авгу-

сте 2025 г. В сентябре были собраны предложения от наших исполнителей — это 714 научных учреждений (НИИ и университеты). К нам поступило более полутора тысяч предложений от квалифицированных заказчиков — федеральных органов исполнительной власти и высокотехнологических компаний. Мы направили эти предложения тематическим и региональным отделениям, которые уже в декабре должны составить проект детализированного плана государственного задания на фундаментальные научные исследования. За январь и начало февраля нужно будет обсудить этот проект с профильными министерствами и ведомствами, а затем утвердить его на координационном совете ПФНИ.

Таким образом, если раньше на экспертизу госзадания отводилось около двух месяцев, то сейчас работа по формированию государственного задания занимает порядка восьми месяцев. Считаем, что этого срока достаточно, чтобы проанализировать поступающие предложения и выбрать лучшие из них.

Хотел бы сказать, что благодаря указу Президента РФ от 2024 г. о Стратегии научно-технологического развития России, а также Указу Президента РФ от февраля 2025 г. появился действенный механизм работы Российской академии наук с правительственной Комиссией по научно-технологическому развитию России. Её возглавляет заместитель председателя Правительства России Д.Н. Чернышенко. Как вы знаете при комиссии действует Научно-технический совет. Сейчас мы ведём большую работу по синхронизации научной и технологической политики Российской Федерации.

В конце 2024 г. был принят Федеральный закон № 523-ФЗ «О технологической политике в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В соответствии с постановлением Правительства России от октября 2025 г. «О планировании технологической политики в Российской Федерации» в настоящее время формируется экспертный совет. Он должен состоять не менее чем на половину из членов Научно-технического совета Комиссии по научно-технологическому развитию. Это очень важно для формирования единой сквозной политики — от фундаментальных исследований до прикладных, конкретных технологий и изделий.

В 2024 г. на заседании Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам были утверждены национальные проекты. Девять из них — это национальные проекты технологического лидерства. По результатам заседания вышло два поручения Президента России. Одно касается участия Научно-технического совета Комиссии НТС в проведении мониторинга реализации нацпроектов. Второе было дано Правительству России совместно с Российской академией наук. Президент поручил нам выработать предложения, направленные на достижение превосходства отечественных технологий и продукции над зарубежными аналогами. В настоящее время работа Академии наук и НТС синхронизирована во многом благодаря тому, что

и заместителем руководителя комиссии, и председателем Научно-технического совета стал президент РАН.

Структурно Научно-технический совет Комиссии по научно-технологическому развитию разделён на секции, работу каждой из которых курирует вице-президент РАН. Только в 2025 г. НТС комиссии совместно с Российской академией наук рассмотрел более 380 документов. Начата совместная работа по мониторингу реализации нацпроектов.

В соответствии с поручением президента РАН от отделений Российской академии наук поступило более 100 предложений в национальные проекты. Их реализация позволит обеспечить именно технологическое лидерство, а не просто решить задачи импортозамещения. Эти предложения распределены по национальным проектам, в том числе по нацпроектам технологического лидерства. Задача вице-президентов РАН заключается в том, чтобы организовать работу по мониторингу и внедрению поступивших предложений во взаимодействии с ответственными кураторами от Правительства России по каждому проекту. Эта работа находится на контроле, есть ежемесячный график заслушивания результатов этой работы на расширенном заседании Научно-технического совета. По некоторым из этих проектов в ходе Общего собрания будут представлены доклады.

В качестве примера хотел бы остановиться на национальном проекте технологического лидерства “Развитие космической деятельности на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года”, который утверждён Президентом России в июне 2025 г. Фактически он сформирован на основе предложений Российской академии наук. Его составной частью является федеральный проект “Космическая наука”. Все мероприятия, отобранные Российской академией наук в федеральный проект, обеспечены полным финансированием. Это позволит реализовать сбалансированную программу фундаментальных и технологических исследований в космосе, в области астрофизики, исследования планет, солнечно-земных связей, медицины и биологии, лунной программы. Запланировано создание и запуск 16 космических научных аппаратов.

Отмечу такие проекты, как обсерватория в ультрафиолетовом диапазоне “Спектр-УФ” для наблюдения за атмосферой экзопланет, признаков жизни, изучения химической эволюции Вселенной, образования звёзд и планетных систем. Проект “Спектр-М” (Миллиметр) — это первый десятиметровый охлаждаемый телескоп в терагерцовом диапазоне, он позволит решить прорывные научные задачи, изучить детальную структуру сверхмассивных чёрных дыр, провести поиск воды и сложных органических соединений. Кроме того, появится возможность уточнить космологические теории по искажению спектра реликтового излучения. Проект “Спектр-РГН” предполагает изучение экстремальных физических явлений в сверхсильных полях нейтронных звёзд и чёрных дыр.

В числе запланированных научных инициатив — проекты по исследованию экзопланет, проект “Венера-Д” для поиска маркеров жизни на Венере,

исследования истории климата этой планеты, проекты “Резонанс” и “Арка” для разработки прогнозов солнечной активности и магнитных бурь, проект “Бион-М” для анализа влияния радиации на биообъекты на дальних орбитах, а также Российская комплексная оптимизированная программа исследования и освоения Луны. Эта программа уже принесла первые результаты. В августе 2025 г. успешно стартовал и вернулся на Землю биологический спутник “Бион-М2”, предназначенный для исследований в области космической биологии, физиологии и биотехнологии. Благодаря этому проекту сегодня наши учёные располагают новыми ценными научными данными, сейчас они обрабатываются. Другой успешный проект — запуск космических аппаратов “Ионосфера” системы “Ионозонд”, которые предназначены для мониторинга и исследования Земли. В ноябре нынешнего года космическая система была принята в эксплуатацию без ограничений.

Данные, которые позволяет получать этот проект, высоко востребованы нашими ведомствами и учёными, по ряду показателей эти исследования превосходят мировой уровень. Большой интерес к ним проявляют зарубежные партнёры, в том числе из стран БРИКС. До инициирования этого проекта некоторые виды наблюдений не осуществлялись более 30 лет. Реализация этой программы позволит нам оставаться в числе мировых лидеров в области космических исследований. Более подробно об этом нацпроекте доложат вице-президент РАН академик С.Л. Чернышёв и академик А.А. Петрукович.

Хотел бы отметить роль тематических отделений, которая сегодня заметно усиливается. Мы ставим перед отделениями задачу более глубокого научно-методического руководства научными институтами. Остановлюсь на задаче утверждения направлений исследований научных учреждений. Раньше, когда создавался тот или иной научный институт, постановлением президиума Академии наук утверждались направления его исследований. Сейчас же основным документом, которым руководствуются институты, является их устав. Фактически это типовые уставы, в которых определён очень широкий круг направлений исследований, что не позволяет определить главный профиль и специализацию научного учреждения. Сегодня перед тематическими отделениями стоит задача утвердить направления научных исследований для институтов, которые находятся под их научно-методическим руководством, чтобы на каждый ожидаемый результат в рамках ПФНИ приходилось как минимум одна-две научные организации. Такая работа проведена, однако по её итогам мы увидели, что у нас есть заметные перекосы. По некоторым направлениям работы ведутся всего одной организацией, по другим — многими научными институтами. Рекорд — 62 научные организации на один ожидаемый научный результат. Мы не считаем, что тут должны быть какие-то ограничения, тем не менее полагаем, что отделения должны ещё раз внимательно посмотреть на распределение тематик исследований и проанализировать направления работы научных организаций.

Перед нашими отделениями стоит и целый ряд других ответственных задач, в том числе анализ запросов

квалифицированных заказчиков на фундаментальные и поисковые исследования, создание “банка” востребованных работ, формирование госзадания на фундаментальные и поисковые исследования, мониторинг реализации программ научных исследований, экспертиза отчётов о выполнении госзадания, кадровые вопросы.

Вместе с тем структура Академии наук, сложившаяся в 2013 г., не вполне отвечает тем вызовам и задачам, которые стоят сегодня перед Российской академией наук. Поэтому президиум РАН в феврале 2025 г. утвердил Комиссию по подготовке предложений по совершенствованию структуры РАН. Её возглавил академик В.В. Козлов, в неё также вошёл академик Ю.С. Осипов, вице-президенты РАН С.М. Алдошин и Н.К. Долгушкин, академики-секретари отделений, представители региональных отделений. 18 ноября 2025 г. предложения комиссии были одобрены президиумом Российской академии наук. В связи с этим в рамках общего собрания запланированы два доклада: академика В.В. Козлова и вице-президента РАН академика Н.А. Макарова, председателя уставной комиссии, так как в связи с решением президиума РАН нам предстоит внести изменения в устав.

Несколько слов о кадровых вопросах. Напомню, что в соответствии с поправками, внесёнными в Федеральный закон “О Российской академии наук...” в декабре 2024 г., распоряжением РАН в 2025 г. была сформирована Комиссия по кадровым вопросам. Её возглавляет президент РАН. В состав комиссии входят: вице-президенты РАН; председатель рабочей группы РАН по кадровым вопросам; заместители руководителей ведомств и министерств; представители администрации Президента РФ и аппарата Правительства России; академики Российской академии наук.

Полномочия комиссии включают одобрение кандидатур на должности руководителей академических институтов, исполняющих обязанности руководителей, снятие их с должности. Это касается всех институтов, находившихся ранее в ведении ФАНО России, вне зависимости от их текущей ведомственной принадлежности.

В связи с возрастающей ролью Академии наук в научно-методическом руководстве научными организациями и в целях более тесного взаимодействия с руководителями научных институтов в сентябре 2025 г. по решению президиума РАН был создан Совет руководителей научных организаций. Его деятельность будет способствовать более активному взаимодействию с научными институтами, позволит оперативно получать обратную связь, решать возникающие проблемы.

Несколько слов о домах учёных. На Общем собрании 28 мая 2025 г. были приняты изменения в устав РАН.

Они позволяют включать в структуру академии организации культуры, осуществляющие популяризацию науки, научных знаний, достижений науки и техники. 22 июля соответствующие поправки в закон были приняты Государственной думой. Уже 25 июля закон получил одобрение в Совете Федерации, а 31 июля был подписан Президентом России. 23 октября вышло распоряжение Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым полномочия учредителей и собственников домов учёных с 1 января 2026 г. передаются Российской академии наук. Речь идёт о семи домах учёных: это знаменитый Центральный дом учёных в Москве, дом учёных имени Горького в Санкт-Петербурге, дом учёных Троицкого научного центра, дом учёных Пушинского научного центра, дом учёных научного центра в Черноголовке, дом учёных Сибирского отделения в Новосибирске, а также дом учёных Томского научного центра.

Уважаемые коллеги, подходит к концу год 80-летия Победы в Великой Отечественной войне. Для нас сегодня очень важна память об этом священном подвиге. Она вдохновляет нас трудиться, преодолевать трудности, напоминает о том, как наша страна сумела выстоять и пережить непростые годы. В этой связи перед Российской академией наук стоит очень большая задача по сбережению исторической правды, изучению Великой Отечественной войны. Юбилейной дате были посвящены свыше 170 мероприятий, состоявшихся в течение года под эгидой Российской академии наук, региональных отделений и академических институтов. Был создан спецпроект Российской академии наук, который в этом году стал лауреатом премии “За верность науке”. Совместно с “Российской газетой” был опубликован специальный выпуск “Академия”. Мы уделяем особое внимание сбережению исторической правды. Участники из 25 стран мира – стран СНГ, Азии, Африки, Западной и Восточной Европы – посетили крупные научные конференции, круглые столы, организованные РАН совместно с зарубежными партнёрами. Хотел бы поблагодарить Отделение историко-филологических наук, которое провело очень большую работу в этом направлении. Кроме того, совместно с документальной службой ВГТРК завершилась работа над фильмом “Битва наук”, посвящённым учёным и работе Академии наук в годы Великой Отечественной войны. Вскоре он будет показан в эфире федеральных телеканалов.

Уважаемые коллеги, в завершение нужно отметить, что впереди у нас ещё много работы. Перед нашими учёными стоят масштабные и смелые задачи. Пользуясь случаем, хотел бы пожелать вам успехов в их решении, реализации всех намеченных планов.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040029

Оригинальная статья

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ – КЛЮЧ К РАЗВИТИЮ РОССИИ

С.Л. Чернышев^{1,*}, А.А. Петрукович²

¹Российская академия наук, Москва, Российская Федерация

²Институт космических исследований РАН, Москва, Российская Федерация

*E-mail: slchernyshev@pran.ru

Аннотация. В 2025 г. утверждён беспрецедентный по размаху национальный проект “Развитие космической деятельности Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года”. Российская академия наук стала квалифицированным заказчиком входящего в его состав федерального проекта “Космическая наука”, предусматривающего запуск 16 космических аппаратов для исследований по всем направлениям космической науки: астрофизике, изучению солнечной системы и солнечно-земных связей, медико-биологическим экспериментам, освоению Луны. Федеральный проект закрепляет значимую роль России в мировой научной космонавтике, развивает компетенции ключевых традиционных научных школ СССР и России, создаёт технологические заделы для решения прикладных задач. Российские научные организации активно участвуют и в других направлениях национального проекта: по мониторингу Земли, космической навигации, космической ядерной энергетике и др. Сегодня Российская академия наук занимает активную позицию в целеполагании космической деятельности, эффективно координирует работу научных организаций страны, в том числе через Управление РАН по координации космических исследований и Совет РАН по космосу.

Ключевые слова: российская космическая программа, космическая наука, солнечная система, астрофизика, солнечно-земные связи, космическая медицина и биология

Финансирование. Исследование проведено без дополнительного финансирования.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них отсутствует конфликт интересов.

Вклад авторов. Оба автора внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

Благодарности. Авторы благодарны сотрудникам Управления РАН по координации космических исследований, коллегам из институтов РАН, предоставившим информацию для доклада на общем собрании РАН и для этой публикации: ИКИ РАН, ИНАСАН, ФИАН, ЦЭПЛ РАН, ИМБП РАН, ИФТТ РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, АО ГНЦ “Центр Келдыша”.

Ссылка для цитирования: Чернышев С.Л., Петрукович А.А. Космические технологии – ключ к развитию России. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 304–313. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040029>



Поступила в редакцию 16.02.2026

После доработки 03.03.2026

Принята к публикации 07.03.2026

ЧЕРНЫШЕВ Сергей Леонидович – академик РАН, вице-президент РАН, научный руководитель ЦАГИ, Москва, Российская Федерация, e-mail: <https://orcid.org/0000-0001-6368-8090>. ПЕТРУКОВИЧ Анатолий Алексеевич – академик РАН, директор ИКИ РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: a.petrukovich@cosmos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2117-9842>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040029

Original Article

SPACE TECHNOLOGIES – KEY TO RUSSIA'S DEVELOPMENT

S.L. Chernyshev^{1,*}, A.A. Petrukovich²

¹*The Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*Space Research Institute of the RAS, Moscow, Russian Federation*

**E-mail: slchernyshev@pran.ru*

Abstract. In 2025 an unprecedented national project “Development of the Russian Federation's Space Activities for the period up to 2030 and for the perspective of 2036”, was approved. The Russian Academy of Sciences serves as the qualified commissioning body for the federal project “Space Science”, which is part of this national project. This federal project envisages the launch of 16 spacecraft covering all areas of space science: astrophysics, studies of the Solar System and solar-terrestrial relations, biomedical experiments, and lunar exploration. The federal project solidifies Russia's significant role in global space science, develops the competencies of key traditional scientific schools of the USSR and Russia, and creates technological groundwork for applied tasks. Russian scientific organizations are also actively involved in other areas of the national project, such as Earth monitoring, space navigation, space nuclear power, and others. Today, the Russian Academy of Sciences holds a proactive stance in setting goals for space activities, effectively coordinating the work of the country's scientific organizations, including through the RAS Department for the Coordination of Space Research and the RAS Council on Space.

Keywords: Russian space program, space science, solar system, astrophysics, solar-terrestrial relations, space medicine and biology

Funding. No additional funding was received for this study.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' contribution. Both authors contributed substantially to the conception, research, and writing of this paper.

Acknowledgements. The authors are grateful to the staff of the RAS Department for the Coordination of Space Research, and to colleagues from the RAS institutes who provided information for the report at the General Meeting of the RAS and for this publication: Space Research Institute (IKI RAS), Institute of Astronomy (INASAN), Lebedev Physical Institute (FIAN), Center for Ecological and Productivity Problems of Forests (CEPL RAS), Institute of Biomedical Problems (IMBP RAS), Institute of Solid State Physics (IFTT RAS), Ioffe Physical-Technical Institute (Ioffe PTI RAS), and Keldysh Research Centre (JSC “Keldysh Centre”).

For Citation: Chernyshev S.L., Petrukovich A.A. Space technologies – key to Russia's development. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 304–313. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040029>

Received February 16, 2026

Revised March 03, 2026

Accepted March 07, 2026

CHERNYSHEV Sergey L. – Academician of the RAS, Vice-President of the RAS, Scientific Director of TsAGI, Moscow, Russian Federation, e-mail: slchernyshev@pran.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6368-8090>. PETRUKOVICH Anatoly A. – Academician of the RAS, Director of IKI RAS, Moscow, Russian Federation, e-mail: a.petrukovich@cosmos.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2117-9842>.

© Chernyshev S.L., Petrukovich A.A., 2026

Один из важнейших приоритетов в работе Российской академии наук – разработка и реализация российской космической программы. На совещании в МГТУ им. Баумана в апреле 2025 г. Президент РФ определил космическое направление как одно из ключевых для нашего национального развития и технологического обновления экономики, повышения качества жизни граждан [1].

С начала космической эры Академия наук СССР, возглавляемая академиком М.В. Келдышем, стала главным научным штабом по организации космических исследований. Академия наук играла ключевую роль в разработке и реализации советской лунной программы, межпланетных миссий, изучении околоземного космического пространства [2]. В наши дни Российская академия наук возвращается на поле активной космической деятельности. Роль академии должна существенно возрасти как в определении направлений космических исследований, так и в создании передовой космической техники и технологий. Этому будет способствовать старт национального проекта технологического лидерства “Развитие космической деятельности Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года” (далее – национальный проект “Космос”), в том числе его составной части – федерального проекта “Космическая наука”. Их формирование происходило при активном участии РАН. Именно благодаря академии и активным действиям президента РАН академика Г.Я. Красникова была получена полная поддержка всех космических миссий, входящих в федеральный проект, в том числе в части беспрецедентно высокого уровня финансирования. Этому предшествовали многочисленные консультации, встречи, переговоры с руководством космической отрасли, Правительством РФ, Президентом РФ. Результат налицо – академия возвращается в число активных игроков в космической программе.

Решением Правительства РФ определена новая роль РАН – теперь академия выступает не только как тематический, но и как квалифицированный заказчик с гораздо большими полномочиями. Это означает, что вместе с Госкорпорацией “Роскосмос” она несёт всю полноту ответственности за достижение поставленных целей и задач в двух федеральных проектах – “Космическая наука” и “Пилотируемая космонавтика”.

В этой связи академия перестраивает свою работу. Организовано постоянно действующее совещание на уровне руководителей РАН и Госкорпорации “Роскосмос”, на котором обсуждаются состояние дел и имеющиеся проблемы, принимаются необходимые решения. В структуре РАН создано Управление координации космических исследований. В тесном взаимодействии с научными руководителями проектов, институтами РАН, Госкорпорацией “Роскосмос” управление обеспечивает выполнение функций квалифицированного заказчика.

В соответствии с принятыми планами, в 2026–2036 гг. будет выполнена обширная программа фундаментальных и технологических исследований в области астро-

номии, изучения планет, солнечно-земных связей, медицины и биологии. Запланировано изготовление и запуск 16 научных космических аппаратов.

СОВРЕМЕННАЯ МИРОВАЯ КОСМОНАВТИКА

Сегодня мы живём в новую эпоху освоения космоса. Размах событий, происходящих в мире в космической отрасли, можно сравнить только с началом космической эры. Резко расширяется круг участников космической деятельности за счёт новых государств, глобального юга и частных компаний. Продолжается бум новых ракет-носителей. США и Китай превзошли советские рекорды по количеству запусков за год. Частные компании создают весь спектр возможных вариантов ракет – от самых лёгких до сверхтяжёлых, открываются новые космодромы. В Китае количество стартапов, уже запустивших свои первые полноценные ракеты, приближается к десяти. Россия тоже разработала новые ракеты: помимо уже летающей “Ангары-5”, в 2026 г. должен состояться первый старт полутяжёлой ракеты “Союз-5”. Ракеты – фундамент для активной экспансии человечества в космос на многие десятилетия вперёд.

Формируется инновационная техническая экосистема ближнего космоса: комбинация многообразных ракет, сотен и тысяч серийных спутников, практически мгновенной глобальной космической связи, центров обработки данных с искусственным интеллектом даёт возможность быстро и эффективно решить любую новую задачу мониторинга и коммуникаций в любой точке мира.

Растёт интенсивность пилотируемых полётов. Последние несколько лет отмечены новыми рекордами. В 2024 г. девятнадцать человек одновременно находились на орбите без учёта суборбитальных полётов. В конце 2025 г. на МКС впервые были заняты все восемь портов для транспортных кораблей. Полностью сформирована китайская пилотируемая станция. В финальную стадию вступила подготовка индийской пилотируемой программы. В этой связи чрезвычайно важным становится своевременное создание новой Российской орбитальной станции.

Разворачивается разработка технологий освоения дальнего космоса: создаются сверхтяжёлые ракеты, средства робототехники, новая ядерная энергетика. Человечество возвращается на Луну [3], на мировых площадках обсуждается идея объявить следующее десятилетие “декадой Луны”. Прорывом стала успешная доставка грунта с обратной стороны Луны китайским аппаратом “Chang’E-6”. Обнародована амбициозная китайская программа освоения и исследования космоса на следующую пятилетку. Объявлено о пилотируемом полёте на Луну в 2030 г., о запуске миссии для доставки грунта с Марса в 2028 г. В ближайшие пять лет будет выведено на орбиту пять новых очень интересных научных спутников для наблюдений за Солнцем и астрономическими объектами. С доставкой грунта с Марса Китай вырвется в лидеры освоения космоса.

В конце 2025 г. президент Трамп подписал указ об американском “превосходстве в космосе”; планирует-

ся, в частности, оперативный возврат астронавтов на Луну с созданием передовых технологий, размещением на поверхности спутника Земли ядерного реактора. На начало 2026 г. запланирован первый полёт к Луне новой американской сверхтяжёлой ракеты с экипажем на борту, а в 2027–2028 гг. – новые пилотируемые посадки в её полярной зоне. НАСА активно привлекает к освоению Луны частные компании.

В связи с запуском самых современных космических миссий для науки открываются новые возможности. Сегодня число работающих в космосе научных аппаратов составляет более сотни. Это и большое разнообразие телескопов для астрофизических исследований, и целая флотилия орбитальных аппаратов и роверов на Марсе, и межпланетные станции от ближайших окрестностей Солнца до границы гелиосферы. И конечно, ведётся детальное изучение ближайших окрестностей Земли и самой Земли.

Ярким примером новых возможностей человечества и интереса широких слоёв населения к космосу стало открытие межзвёздного объекта в солнечной системе – кометы 3I/ATLAS. Она привлекла всеобщее внимание из-за споров о её искусственном происхождении, хотя по своим свойствам этот объект – обычная комета, а двух одинаковых комет, как и людей, не бывает. Но теперь мы знаем, что такие объекты периодически посещают солнечную систему, а новые технические возможности позволят встретить их в научном “всеоружии” и впервые исследовать вещество из другой звёздной системы.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ “КОСМОС” И ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ “КОСМИЧЕСКАЯ НАУКА”

Космическая деятельность – это не узкий сектор промышленности и науки. В него вовлечено большое количество научных организаций, а результаты широко востребованы. Новый национальный проект “Космос” отвечает на современные вызовы, задаёт высокую планку и российской космической промышленности, и российской науке. Номенклатуру запланированных работ можно сравнить только с лучшими периодами советской космонавтики. Национальный проект состоит из восьми тематических федеральных проектов: по созданию новых ракет-носителей, по развитию околоземной инфраструктуры, космической навигации, пилотируемой космонавтики, космических средств для фундаментальных исследований, космической ядерной энергетики. Наконец, в проект включены направления по обновлению производственной базы отрасли и подготовке кадров.

Федеральный проект “Космическая наука” предусматривает серию миссий, которые прошли серьёзный конкурентный отбор в Совете РАН по космосу. Они закрепляют значимую роль России в научном космосе, развивают компетенции ключевых и традиционных научных школ СССР и России, создают технологические заделы для решения прикладных задач.

С 2019 г. на орбите работает обсерватория “Спектр-РГ” (головная научная организация –

ИКИ РАН, изготовитель телескопа ART-XC – РФЯЦ-ВНИИЭФ, головная организация по космическому комплексу – АО “НПО Лавочкина”) – флагман не только отечественной, но и мировой космической науки [4, 5]. С помощью её инструментов построена самая подробная карта Вселенной в рентгеновских лучах; проведены глубокие наблюдения нашей Галактики в жёстком рентгене, где сквозь толщу пыли и газа зарегистрировано несколько тысяч источников, среди которых обнаружены уникальные объекты – микрокварзы, миллисекундные пульсары и т.д.; построены уникально чёткие карты центральной области Галактики в непосредственной близости от сверхмассивной чёрной дыры в её центре. Результаты работы обсерватории опубликованы в сотнях статей и заслужили мировое признание – ИКИ РАН и АО “НПО Лавочкина” была присуждена престижная премия им. Марселя Гроссмана (ранее её удостоивались Ватиканская обсерватория и телескоп им. Хаббла), а создатели российского телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского, функционирующего на борту обсерватории, в 2024 г. получили премию Правительства РФ в области науки и техники.

Важно отметить, что в этом проекте были созданы технологии, которых раньше не было в нашей стране – полупроводниковые рентгеновские детекторы космического исполнения, рентгеновская металлооптика, а сам аппарат работает и управляется в точке либрации системы Солнце–Земля на расстоянии 1.5 млн км от Земли, что также впервые реализовано отечественной космонавтикой.

Обсерватория “Спектр-РГ” продолжит свою работу в рамках национального проекта, а разработанные при её создании технологии получают дальнейшее развитие. В частности, начато конструирование обсерватории “Спектр-РГН” с ориентировочной датой запуска в 2032 г. Наряду с решением фундаментальных задач астрофизики – исследованиями нейтронных звёзд и чёрных дыр с целью определения их физических параметров, планируется решение прикладной задачи – отработки элементов навигации космических аппаратов по сигналам рентгеновских пульсаров (с периодами в несколько миллисекунд) [6]. Подготовительная работа уже начата, например, впервые в России изготовлена пластина с кремниевыми дрейфовыми детекторами, разработанная совместно ИКИ РАН и НИИ молекулярной электроники. Помимо космоса, такие детекторы могут применяться и в других высокотехнологичных приложениях – неразрушающем контроле, рентген-флюоресцентном анализе, медицинской диагностике и т.д. Это яркий пример того, как космос, и в частности рентгеновская астрономия, становится драйвером научно-технологического лидерства страны.

Помимо обсерватории “Спектр-РГН” в федеральном проекте предусмотрен запуск ещё двух астрофизических телескопов. Первый – “Спектр-УФ” (головная научная организация – Институт астрономии РАН) – полутораметровый телескоп, работающий в видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра [7]. Его задачи – исследование процессов звёздообразования, поиск экзопланет, газовых и пылевых облаков, скрытого

барионного вещества. В частности, планеты у других звёзд за счёт свечения их водородной короны, простирающейся на несколько радиусов планеты, в УФ диапазоне выглядят намного ярче, чем в видимом диапазоне, и их гораздо легче найти на фоне излучения родной звезды. Так же по линиям в ультрафиолетовом диапазоне можно определить наличие кислорода в их атмосферах. В настоящее время схожие и очень востребованные исследования выполняет телескоп им. Хаббла, и очередь на его использование выстроилась далеко вперёд. После 2030 г. ему на смену должен прийти “Спектр-УФ”.

Ещё один телескоп – “Спектр-М” (“Миллиметр”, головная научная организация – Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН) – должен быть запущен ближе к середине следующего десятилетия [8]. Это уникальный для мировой космонавтики проект – охлаждаемый до криогенных температур десятиметровый телескоп, работающий в миллиметровом диапазоне волн, на границе инфракрасного и радиодиапазонов. Он даёт возможность наблюдать тонкие особенности реликтового излучения, характеризующие космологические модели, молекулы воды и органические вещества. Более того, планируется использовать его совместно с наземными антеннами в режиме интерферометра, что позволит достичь уникального пространственного разрешения и вести наблюдение структуры непосредственной окрестности горизонта событий сверхмассивных чёрных дыр. Благодаря этому можно будет проверить общую теорию относительности и, вероятно, гипотезу о том, что ядра некоторых галактик могут быть кротовыми норами, а не сверхмассивными чёрными дырами.

Российская флагманская планетная миссия “Венера-Д” (головная научная организация – ИКИ РАН) отправится к Венере [9]. В истории космонавтики эта планета “закреплена” за СССР и Россией. Только отечественные предприятия владеют “ноу-хау” по мягкой посадке на Венеру и работе в экстремальных условиях на её поверхности. Этот результат 70–80-х годов прошлого века так и не был никем повторён. В последние годы интерес к Венере активизировался, в том числе в контексте обсуждения возможности наличия примитивных форм жизни в её облачном слое – на высотах порядка пятидесяти километров, где температура и давление уже схожи с земными. Другая важнейшая задача – восстановление истории климата планеты, определение причин формирования на ней экстремального парникового эффекта, для чего необходимы высокочувствительные измерения состава малых примесей в атмосфере. В мире запланирован запуск к Венере нескольких орбитальных аппаратов, в том числе для решения и этих проблем. Российская же миссия опирается на опыт наших великих предшественников, и только она предусматривает мягкую посадку и зондирование облачного слоя с аэростатов. На поверхности будут проведены измерения состава грунта, в частности, для выяснения роли вулканизма в истории планеты. Всё это будет сделано на новом инструментальном уровне, с использованием современных технологий.

Многие важные, интересные темы планетных исследований, в частности, связанные с Марсом [10] и астероидами, не попали в российскую программу. Они будут решаться в международной кооперации, что важно для всех космических держав. Только общими усилиями можно закрыть весь фронт востребованных исследований. Сегодня российские приборы работают на семи зарубежных планетных миссиях. В новом федеральном проекте предусмотрено развитие сотрудничества с китайскими и индийскими коллегами.

Программы исследований околоземного космоса получат взаимоувязанную систему аппаратов для изучения всей цепочки солнечно-земных связей, начиная с солнечной активности и заканчивая радиацией на низких околоземных орбитах. Эти проекты дают уникальную возможность изучать “на месте”, “изнутри” космическую среду, заполненную бесстолкновительной плазмой, которая характерна практически для всех объектов в дальнем космосе, но не может быть воспроизведена в земной лаборатории из-за своей разрежённости. Вторая важнейшая задача – установление причинно-следственных связей в системе влияния солнечной активности и солнечного ветра на магнитосферу и ионосферу Земли. Это должно создать фундаментальный задел для развития прикладной гелиогеофизики, изучающей эффекты, вызываемые солнечной активностью в технических системах, и прогнозы такого влияния.

Малый космический аппарат “Арка” (головная научная организация – ФИАН) нацелен на диагностику ближней короны Солнца со сверхвысокой, ранее недостижимой детализацией менее 100 км. По современным представлениям ключевые физические процессы, отвечающие за нагрев короны и инициацию солнечных вспышек, имеют именно такие масштабы. В рамках проекта “Резонанс” (головная научная организация – ИКИ РАН) будет запущено несколько малых космических аппаратов для диагностики воздействия солнечного ветра на магнитосферу Земли как на её границах, так и в глубине – в зоне полярных сияний и внешнем радиационном поясе. Наконец, проект “Нуклон-2” (головная научная организация – НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ) предназначен для исследований вариаций солнечных и галактических космических лучей – основной радиационной угрозы в дальнем космосе, за пределами радиационных поясов.

Традиционная уникальная черта российской научной космической программы – спутники для медико-биологических исследований [11, 12]. В августе–сентябре 2025 г. был выполнен успешный полёт спутника “Бион-М2” (головная научная организация – Институт медико-биологических проблем РАН, головная организация – АО РКЦ “Прогресс”) на полярной орбите, уровень радиации на которой существенно выше, чем на орбите МКС. Впервые были проведены исследования воздействия факторов космического пространства на различные биологические объекты на системном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. Зарубежных аналогов таких работ нет. Кооперация выстраивается и с российскими учёными, и с за-

рубежными коллегами, которые очень заинтересованы в таком сотрудничестве. Сейчас все данные ещё обрабатываются, но уже можно сказать, что некоторые результаты имеют уникальный характер, они помогут в определении рисков, связанных с полётом человека за пределы низкой околоземной орбиты.

Эти исследования будут продолжены в новой программе благодаря запуску космического аппарата “Бион-М” № 3, который будет выведен на орбиту, пролегающую ещё ближе к дальнему космосу. Этими работами российская наука создаёт задел для пилотируемой программы будущего с длительным присутствием человека в межпланетном пространстве, где характеристики космической радиации существенно отличаются от её уровня на низкой околоземной орбите.

Отдельный блок составляет программа лунных проектов, которая обеспечит достойное место России в разворачивающейся сейчас новой лунной гонке (головная научная организация – ИКИ РАН) [13]. Ожидается, что за последующие десять лет в мире будет запущено около ста лунных миссий, начнётся формирование лунных баз. Как минимум две страны, США и Китай, планируют пилотируемые экспедиции. Ключевые задачи новой лунной программы – отработка технологий деятельности в дальнем космосе с прицелом на пилотируемый полёт на Марс, пробное освоение лунных ресурсов – как минеральных, так и территориальных. Именно за наиболее удобные места посадки вблизи лунных полюсов и разворачивается соревнование на первом этапе освоения Луны.

К сожалению, не все посадки на Луну были успешными. В начале космической эры, чтобы пройти путь от первого спутника до первого человека в космосе, понадобилось всего четыре года. А чтобы совершить первую мягкую посадку на Луну – девять лет. Для того чтобы перейти от одиночных миссий к формированию лунных баз, необходимо создать на новой основе технологии навигации и связи, прицельной мягкой посадки на Луну. Развитие робототехники, искусственного интеллекта формирует для этого надёжную основу.

Пятнадцать лет назад именно российские учёные первыми сформулировали приоритеты новой лунной экспансии, ориентированной на освоение лунных приполюсных зон, вероятно, содержащих в приповерхностном слое залежи водяного льда, которые могут быть использованы для снабжения будущих лунных баз. Эти предложения были основаны в том числе на наблюдениях российского прибора – коллимированного спектрометра нейтронов, запущенного в 2009 г. на борту американского лунного орбитального аппарата LRO [14].

Новая российская лунная программа начинается запуском лунного орбитального аппарата “Луна-26”, который предназначен для создания стереопографических карт высокого разрешения, необходимых для автономной навигации в окололунном пространстве, исследования состава приповерхностных слоёв и экзосферы – разрежённой плазменно-пылевой оболочки спутника. Затем будут запущены два идентичных посадочных аппарата “Луна-27/1” и “Луна-27/2”, ко-

торые должны отработать алгоритмы посадки в перспективных районах вблизи южного и северного полюсов Луны, провести исследования на предмет следов водяного льда, химического состава грунта, динамики летучих веществ во время смены лунных дня и ночи. Кроме того, в ближайшие годы несколько российских приборов отправятся к Луне на борту китайских лунных миссий.

На втором этапе российской лунной программы в рамках утверждённого федерального проекта начнётся формирование российской лунной базы. Предусмотрены миссии с доставкой образцов лунного грунта, с луноходами для исследования ближних окрестностей базы и удалённых кратеров. Планируется создание нового орбитального аппарата. Начнётся также работа над формированием лунной обсерватории, впервые использующей возможности лунной базы. Эти проекты должны быть реализованы в увязке с развитием лунной ядерной энергетики, создаваемой в рамках другого федерального проекта.

Федеральный проект решает и задачи наземной поддержки космических миссий: обновляется сеть дальней космической связи, создаётся единый архив данных. За каждым проектом стоят не только головные научные организации (их всего пять), но и их соисполнители, а также обширная кооперация потребителей информации.

НАУКА В ДРУГИХ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ПРОЕКТАХ

Успешный запуск четырёх космических аппаратов “Ионосфера-М”, предназначенных для мониторинга и исследований ионосферы Земли в интересах Росгидромета и Российской академии наук, был произведён в ноябре 2024 г. и в июле 2025 г. [15]. Этот проект имеет прикладной характер. Главный используемый метод наблюдений – радиозондирование, так как основные слои ионосферы расположены существенно ниже, чем орбита космических аппаратов. Наши достижения здесь опираются на советскую и российскую школу радиофизики. После успешного прохождения лётно-конструкторских испытаний космическая система “Ионозонд” в ноябре 2025 г. была допущена к эксплуатации. Её разработкой занимались предприятие “Роскосмос” АО “Корпорация ВНИИЭМ”, институты РАН и Росгидромета. Комплекс целевой аппаратуры создан ИКИ РАН, ИЗМИРАН, НИИЯФ МГУ, НИРФИ ННГУ, НПП “Астрон-Электроника”, АО “Корпорация ВНИИЭМ”, ИПГ Росгидромета.

С помощью системы “Ионозонд” учёные смогут наблюдать структуру ионосферы, колебания электромагнитных полей естественного и искусственного происхождения, общее содержание озона и диоксида азота в атмосфере. Объём информации, получаемой с космических аппаратов, – около 60 Гбайт в день с глобальным покрытием, в том числе из зон океанов, где наземных измерений нет. Для обработки такого объёма данных задействованы методы искусственного интеллекта. Результаты востребованы как профильными ведомствами, прежде всего для прогноза распространения радиоволн, так и научным сообществом.

Российские геофизические институты, проводящие наземные наблюдения от Калининграда до Камчатки, уже выстраивают свои программы исследований с учётом работы этих космических аппаратов.

Ещё одна часть национального проекта, в которой Российская академия наук и научные организации принимают активное участие не только как создатели аппаратуры, но и как заказчики и потребители этой информации — это наблюдения Земли. Например, в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) “Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ” благодаря наблюдениям из космоса одним из консорциумов уточнена оценка поглощения парниковых газов лесами и другими наземными экосистемами на всей территории России [16, 17]. На первом этапе реализации ВИП ГЗ были разработаны методики автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования Земли для обеспечения непрерывного мониторинга запасов и баланса углерода лесных и других наземных экосистем РФ; разработана информационно-аналитическая система мониторинга бюджета углерода в наземных экосистемах (ИАС “Углерод-Э”); развёрнута сеть репрезентативных тестовых полигонов для проведения наземных измерений динамики климатически активных веществ в различных компонентах наземных экосистем.

Спутниковые наблюдения верифицировались на обширной сети тестовых полигонов, была построена комплексная модель поглощения, и в результате определено, что суммарный запас углерода в лесах России составляет 63.6 млрд т, а среднегодовой объём поглощения CO₂ всеми лесами и редколесьями страны — 1.6 млрд т CO₂ в год. Это практически вдвое выше, чем цифры, которые официально использовались до сих пор, и новая оценка уже применяется в работе профильных ведомств по международной повестке, связанной с Парижским соглашением.

В основе этого успеха два фактора: разветвлённая кооперация российских институтов биологического профиля, которые проводили наземные верификации, и созданный в ИКИ РАН крупнейший архив спутниковых наблюдений России, объём которого сегодня составляет почти десять петабайт [18]. Его пользователями являются более 150 российских научных и образовательных организаций. Разработано более десятка прикладных информационных систем, сданных в эксплуатацию различным российским ведомствам.

Для получения подобных комплексных результатов мониторинга необходимо решать и специфические технические проблемы. При создании космических средств наблюдения Земли одна из важнейших характеристик — точность абсолютной геопривязки высокодетальных снимков без использования опорных точек. На основе доработки конструкции космических аппаратов, развития бортовой и наземной обработки данных впервые в России была достигнута погрешность геопривязки 3–5 м на шести космических аппаратах [19]. В части приборов звёздной ориентации ИКИ РАН разработаны методы и алгоритмы, внедрённые в потоковую наземную обработку данных и обеспечи-

вающие высокоточную лётную калибровку приборов по звёздам, что позволило снизить случайную составляющую погрешности измерений параметров ориентации в 1.5–2 раза и довести её до уровня одной угловой секунды и менее. На базе информации Глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации (СВОЭВИ) для гражданских потребителей, созданной по заказу Госкорпорации “Роскосмос”, АО “НПК СПП” реализовало внедрение услуги высокой точности системы ГЛОНАСС для потребителей орбитального базирования. Внедрение данной услуги позволило при обработке данных бортовых приёмников навигационного сигнала ГЛОНАСС определять координаты центра масс космических аппаратов с погрешностями менее 0.5 м. РГРТУ совместно с АО РКЦ “Прогресс” реализовали алгоритмы взаимной квазинепрерывной калибровки конструктивных углов между системами координат приборов звёздной ориентации, гироскопов и съёмочной аппаратуры, а также методы калибровки параметров внутреннего ориентирования съёмочной аппаратуры. Совокупность уточнённых данных о координатах центра масс космического аппарата, об ориентации космического аппарата относительно звёзд, о характеристиках конструкции отдельных систем, а также данных с бортовых гироскопов и позволяет решить задачу геопривязки снимков Земли.

Отметим, что бортовые системы, которые решают часть этой задачи, — определители координат звёзд, создаются в научной организации, в Институте космических исследований. Это яркий пример развития изначально чисто научных разработок для наблюдений Земли, планет Солнечной системы и комет в служебную систему, которая сегодня штатно устанавливается на большинстве отечественных спутников дистанционного зондирования Земли.

Ещё один пример — вклад российских научных организаций в развитие федерального проекта по космической навигации. Все пользуются сигналами космической навигации ежедневно, многократно, не задумываясь, сколько раз наш смартфон получает сигналы из космоса, не говоря уже о технических более сложных их применениях в отдельных отраслях промышленности, народного хозяйства, обороны. Новый федеральный проект по космической навигации предусматривает развитие этой группировки, повышение точности определения координат и привязки времени, увеличение помехоустойчивости. На борту новых навигационных спутников “Глонасс-К2”, которые будут составлять основу российской навигационной группировки (два из которых уже запущены), установлен высокоточный бортовой водородный стандарт частоты производства российской инновационной компании “Время-Ч”. Он был впервые разработан в прошлом десятилетии и успешно опробован в комплексе научной аппаратуры космического радиотелескопа “Спектр-Р” [20], где с его помощью была решена задача синхронизации времени регистрации сигналов космическим телескопом и наземными радиотелескопами.

Наконец, нельзя не сказать и о разработках Федерального проекта по космической ядерной энергетике.

Только ядерные источники энергии могут обеспечить в космосе новый промышленный уровень потребления, постоянную практически значимую деятельность на Луне и Марсе, которая, безусловно, начнётся ближе к сороковым годам. Без преувеличения, мы закладываем фундамент освоения дальнего космоса на весь XXI век. Адаптация ядерных технологий к условиям космического пространства требует существенных усилий во многих областях науки и техники [21]. Необходимо создать достаточно малогабаритный, но эффективный источник энергии, который уместится под обтекатель ракеты и выдержит запуск и посадку на планету. Нужно также решить задачу охлаждения в условиях вакуума и яркого солнечного излучения.

Во времена СССР было создано несколько модификаций компактных космических ядерных реакторов, успешно протестированных на орбите. Необходимо использовать этот опыт при создании современных вариантов реакторов для космического транспорта и снабжения электроэнергией на поверхности других небесных тел. Над этими проблемами работают научные организации ГК «Роскосмос» (например, АО ГНЦ «Центр Келдыша»), ГК «Росатом», НИЦ Курчатовский институт, институты РАН, многие члены академии.

Приведём несколько примеров. Эффективность преобразования тепловой энергии реактора в электрическую напрямую зависит от температуры рабочих элементов. Для реакторов большей мощности с турбинным преобразованием энергии необходимо создать специальные материалы для турбин. Институтом физики твёрдого тела РАН получены новые тугоплавкие карбиды Hf и Nb с температурами плавления выше 3500°C, которые позволяют создавать ультра-жаропрочные материалы с рабочими температурами выше 2500°C [22]. Для реакторов меньшей мощности используется прямое преобразование энергии. В этом случае наиболее эффективно применение конвертеров на основе термоэмиссии, разрабатываемых в ФТИ РАН [23]. Коэффициент полезного действия преобразования резко увеличивается при повышении температуры. Теоретически и экспериментально показано, что в кнудсеновском (бесстолкновительном) режиме с использованием паров Cs и Ba происходит

резкий рост КПД до 20–30% и удельной мощности 15–50 Вт/см² при увеличении температуры эмиттера до 2250–2600 К. Это позволяет получать электрическую мощность от 100 до 500 кВт с площади 1 м², обеспечивая малые габариты и вес космических ядерных установок при увеличении их ресурса. Таким образом, поиск новых жаропрочных материалов, способных выдерживать длительное время температуры свыше 2300 К, станет определяющим для создания новой малогабаритной космической энергетики.

* * *

Реализация научного национального проекта «Космос» и федерального проекта «Космическая наука» должна привести к прорывным научным достижениям, созданию технологического задела для освоения дальнего космоса, а также позволит применять перспективные технологии геомониторинга. Это обеспечит России достойное место в современном мире новых технологий.

Усилия широкого круга российских научных организаций, университетов, научно-технических предприятий крайне востребованы для достижения этих результатов. Большое количество научных учреждений непосредственно вовлечено в НИОКР национального проекта «Космос». Для них эти работы – не просто возможность реализовать фундаментальные исследования, участвовать в решении задач по приоритетам научно-технологического развития России, но и большая ответственность. Ещё большее количество научных организаций и университетов в своих исследованиях и разработках опирается на результаты космической деятельности. Не менее важная стратегическая задача, стоящая перед российской наукой, – создание фундаментального задела для космической экспансии середины и второй половины XXI в. Сегодня Российская академия наук занимает активную позицию в целеполагании космической деятельности, эффективно координирует работу научных организаций страны, в том числе благодаря работе Управления РАН по координации космических исследований и Совета РАН по космосу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Выступление В.В. Путина на совещании по вопросам развития космической деятельности Российской Федерации. 06.04.2025.
<http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/deliberations/76692?ysclid=ml67stye5y52574838>
V.V. Putin's Speech at the meeting on the development of the Russian Federation's space activities. April 6, 2025.
<http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/deliberations/76692?ysclid=ml67stye5y52574838> (In Russ.)
2. Зелёный Л.М., Кильпио Е.Ю. Отделение физических наук РАН в XXI веке: космос и астрофизика. *Успехи физических наук*. 2024. Т. 194. № 12. С. 1270–1308. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.05.039794>
Zelenyi L.M., Kilpio E.Yu. Department of Physical Sciences of the Russian Academy of Sciences in the XXI Century: Space and Astrophysics. *Advances in Physical Sciences*. 2024, vol. 194, no. 12, pp. 1270–1308. (In Russ.) <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.05.039794>
3. Зелёный Л.М., Зарубин Д.С., Петрукович А.А. Лунная одиссея 2024 года. Начало освоения «седьмого континента Земли». *Земля и Вселенная*. 2024. № 4(358). С. 7–29. <https://doi.org/10.7868/S0044394824040017>
Zelenyi L.M., Zarubin D.S., Petrukovich A.A. Lunar Odyssey 2024: The beginning of the exploration of Earth's "Seventh Continent". *Earth and the Universe*. 2024, no. 4(358). pp. 7–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0044394824040017>

4. Sunyaev R., Arefiev V., Babyshkin V., et al. The SRG X-ray orbital observatory, its telescopes and first scientific results. *Astronomy & Astrophysics*. 2021, vol. 656, id. A132. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141179>
5. Pavlinsky M., Tkachenko A., Levin V., et al. The ART-XC telescope on board the SRG observatory. *Astronomy & Astrophysics*. 2021, vol. 650, id. A42. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202040265>
6. Арефьев В.А., Мольков С.В., Лутовинов А.А. От теории нейтронных звёзд к решению практических задач космической навигации. *Земля и Вселенная*. 2022. Т.4. С. 25–35.
Arefiev V.A., Molkov S.V., Lutovinov A.A. From neutron star theory to practical solutions in space navigation. *Earth and the Universe*. 2022, vol. 4, pp. 25–35. (In Russ.)
7. Сачков М.Е., Моишеев А.А., Шустов Б.М. и др. Космическая астрофизическая обсерватория “Спектр-УФ” – совместный проект Института астрономии РАН и АО “НПО Лавочкина”. *Вестник “НПО им. С.А. Лавочкина”*. 2022. № 2 (56). С. 39–45. <https://doi.org/10.26162/LS.2022.56.2.003>
Sachkov S.M., Moisehev A.A., Shustov B.M., et al. The Spektr-UV Space Astrophysical Observatory – a joint project of the Institute of Astronomy of the RAS and JSC “NPO Lavochkin”. *Vestnik “NPO im. S.A. Lavochkina”*. 2022, no. 2(56), pp. 39–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.26162/LS.2022.56.2.003>
8. Лихачев С.Ф., Ларченкова Т.И. От проекта “Спектр-Р” к проекту “Спектр-М”: вехи космической радиоастрономии. *Успехи физических наук*. 2024. Т. 194. № 8. С. 814–825. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.03.039662>. EDN LCVMP5
Likhachev S.F., Larchenkova T.I. From the “Spektr-R” project to the “Spektr-M” project: Milestones in space radio astronomy. *Advances in Physical Sciences*. 2024, vol. 194, no. 8, pp. 814–825. (In Russ.) <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.03.039662>. EDN LCVMP5
9. Gorinov D.A., Zasova L.V., Zelenyi L.M., et al. Venera-D: Scientific Goals and the Mission Architecture. *Moscow University Physics Bulletin*. 2025, vol. 80, suppl. 1, pp. S443–S446. <https://doi.org/10.3103/S0027134925702078>
10. Митрофанов И.Г. Исследования Марса: вчера, сегодня и завтра. *Земля и Вселенная*. 2025. № 1–2(361–362). С. 12–32. <https://doi.org/10.7868/S0044394825010013>. EDN: OSODAD
Mitrofanov I.G. Mars exploration: yesterday, today, and tomorrow. *Earth and the Universe*. 2025, no. 1–2(361–362), pp. 12–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0044394825010013>. EDN: OSODAD
11. Космический научный проект “Бион-М1”: медико-биологические эксперименты и исследования / Под ред. А.И. Григорьева. М.: ГИЦ РФ – ИМБП РАН, 2016.
Space science project “Bion-M1”: Biomedical experiments and studies / Ed. by A.I. Grigoriev. M.: Institute of Biomedical Problems of the RAS, 2016. (In Russ.)
12. Григорьев А.И., Орлов О.И., Баранов В.М. Космическая медицина. Научные основы, достижения и вызовы. *Вестник РАН*. 2021. Т. 91. № 11. С. 1036–1040. <https://doi.org/10.31857/S0869587321110050>
Grigoriev A.I., Orlov O.I., Baranov V.M. Space medicine. Scientific foundations, achievements, and challenges. *Herald of the RAS*. 2021, vol. 91, no. 11, pp. 1036–1040. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869587321110050>
13. Зелёный Л.М., А.А. Петрукович А.А., И.Г. Митрофанов И.Г. и др. Исследования Луны с помощью автоматических КА – прелюдия к освоению Луны человеком. Седьмой континент Земли / Вклад академической науки в развитие космической отрасли. Научные сессии Общего собрания членов РАН и Общих собраний отделений РАН. М.: РАН, 2022. С. 157–176.
Zelenyi L.M., Petrukovich A.A., Mitrofanov I.G., et al. Lunar research with automated spacecraft – a prelude to human lunar exploration. The Seventh Continent of Earth / The contribution of academic science to the development of the space industry. Scientific sessions of the General meeting of members of the Russian Academy of Sciences and General meetings of Departments of the Russian Academy of Sciences. Moscow: RAS, 2022. Pp. 157–176. (In Russ.)
14. Mitrofanov I.G., et al. Hydrogen mapping of the Lunar south pole using the LRO neutron detector experiment LEND. *Science*. 2010, vol. 330, pp. 483–486. <https://doi.org/10.1126/science.1185696>
15. Могилевский М.М., Чернышов А.А., Пулинец С.А. и др. Тайны ионосферы Земли и проект “Ионозонд” для раскрытия этих тайн. *Земля и Вселенная*. 2025. № 3(363). С. 5–23. <https://doi.org/10.7868/S0044394825030016>. EDN: LQZDIA
Mogilevsky M.M., Chernyshov A.A., Pulinetz S.A., et al. Secrets of the Earth’s ionosphere and the “Iono-Sond” project for unveiling these secrets. *Earth and the Universe*. 2025, no. 3(363), pp. 5–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0044394825030016>. EDN: LQZDIA
16. Барталёв С.А., Лукина Н.В. Новая методология космического мониторинга углерода в лесах России. *Земля и Вселенная*. 2023. № 5. С. 44–58. <https://doi.org/10.7868/S0044394823050043>
Bartalev S.A., Lukina N.V. A new methodology for space-based carbon monitoring in Russian forests. *Earth and the Universe*. 2023, no. 5, pp. 44–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0044394823050043>

17. Барталёв С.А., Лукина Н.В. Космический мониторинг бюджета углерода в лесах России / Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации. Материалы научной сессии Общего собрания членов РАН, 10 декабря 2024 г. М.: РАН, 2025. С. 293–300.
Bartalev S.A., Lukina N.V. Space monitoring of the carbon budget in Russian forests / Russian Academy of Sciences in solving the problems of scientific and technological development of the Russian Federation. Materials of the scientific session of the General meeting of the RAS members, December 10, 2024. M.: RAS, 2025. pp. 293–300. (In Russ.)
18. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП “ИКИ-Мониторинг”). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170>
Lupyan E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., et al. Experience in the operation and development of the collective use center for satellite data archiving, processing, and analysis systems (СКР “ИКИ-Мониторинг”). *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*. 2019, vol. 16, no. 3, pp. 151–170. (In Russ.) <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170>
19. Кузнецов А.Е., Рыжиков А.С., Пошехонов В.И. Алгоритмическое обеспечение комплекса создания опорных данных по спутниковым снимкам высокого пространственного разрешения. *Цифровая обработка сигналов*. 2024. № 3. С. 59–65.
Kuznetsov A.E., Ryzhikov A.S., Poshekhonov V.I. Algorithmic support for a complex for creating reference data from high-resolution satellite images. *Digital Signal Processing*. 2024, no. 3, pp. 59–65. (In Russ.)
20. Александров Ю.А., Андреев В.В., Бабакин Н.Г. и др. Радиоастрон (проект “Спектр-р”) – радиотелескоп много больше земли. Основные параметры и испытания. *Вестник “НПО им. С.А. Лавочкина”*. 2011. № 3(9). С. 11–19. EDN: NXWDIZ
Alexandrov Yu.A., Andreyanov V.V., Babakin N.G., et al. RadioAstron (project “Spektr-R”) – a radio telescope larger than Earth. Main parameters and tests. *Vestnik “NPO im. S.A. Lavochkina”*. 2011, no. 3(9), pp. 11–19. EDN: NXWDIZ (In Russ.)
21. Коротеев А.С. Использование ядерной энергии в космических системах. *Вестник РАН*. 2021. Т. 91. № 11. С. 1041–1047. <https://doi.org/10.31857/S0869587321110062>. EDN: PEFPDK
Koroteev A.S. The use of nuclear energy in space systems. *Herald of the RAS*. 2021, vol. 91, no. 11, pp. 1041–1047. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869587321110062>. EDN: PEFPDK
22. Гнесин И.Б., Карпов М.И., Прохоров Д.В. и др. Влияние содержания углерода на структуру и механические свойства жаропрочного ниобий-молибденового сплава с карбидным упрочнением. *Металлы*. 2022. Т. 3. С. 65–74.
Gnesin I.B., Karpov M.I., Prokhorov D.V., et al. Effect of carbon content on the structure and mechanical properties of a carbide-strengthened heat-resistant niobium-molybdenum alloy. *Metals*. 2022, vol. 3, pp. 65–74. (In Russ.)
23. Kuznetsov V.I., Ender A.Ya., Babanin V.I. On availability of the optimal regimes in a Knudsen Cs-Ba thermionic converter at high emitter temperatures. *Journal of Applied Physics*. 2018, vol. 124, no. 4, 044502. <https://doi.org/10.1063/1.5027052>

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040034

Обзор

БИОБАНКИРОВАНИЕ – ЛОКОМОТИВ РАЗВИТИЯ НАУК О ЖИЗНИ

О.М. Драпкина^{1,*}, М.А. Пирадов², А.Н. Мешков¹, А.И. Ершова¹, А.Л. Борисова¹,
М.С. Покровская¹, А.Ю. Ефименко³, В.В. Глинкина², В.С. Сухоруков^{2,4},
С.Н. Иллариошкин^{2,5}

¹ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины”
Минздрава России, Москва, Российская Федерация

²ФГБНУ “Российский центр неврологии и нейронаук”, Москва, Российская Федерация

³Медицинский научно-образовательный институт МГУ имени М.В. Ломоносова,
Москва, Российская Федерация

⁴ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет),
Москва, Российская Федерация

⁵ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России, Москва, Российская Федерация
*E-mail: drapkina@bk.ru

Аннотация. Ключевая цель национального проекта “Новые технологии сбережения здоровья” – достижение к 2030 г. технологической независимости России в области медицинских технологий, производства лекарственных препаратов и диагностических систем для раннего выявления и лечения значимых для здоровья населения болезней. Одним из важнейших инструментов, необходимых для реализации этих задач, является биобанкирование. На базе научно-медицинских биобанков активно проводятся исследования по поиску и валидации новых биомаркеров заболеваний человека, создаются калькуляторы риска развития и прогрессирования заболеваний с использованием биомаркеров. Ресурсы исследовательских биобанков используются для создания диагностических тест-систем, выявления новых мишеней для терапии. Биобанки стали необходимым инструментом медицинской науки в области мультиомиксных исследований, персонализированной и регенеративной медицины.

Ключевые слова: биобанк, биобанкирование, биоресурсная коллекция, генетические исследования, персонализированная медицина, клеточные технологии, регенеративная медицина, биотехнологии

Финансирование. Исследование выполнено без дополнительного финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

Ссылка для цитирования: Драпкина О.М., Пирадов М.А., Мешков А.Н., Ершова А.И., Борисова А.Л., Покровская М.С., Ефименко А.Ю., Глинкина В.В., Сухоруков В.С., Иллариошкин С.Н. Биобанкирование – локомотив развития наук о жизни. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 314–331. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040034>

Поступила в редакцию 05.02.2026

После доработки 05.02.2026

Принята к публикации 25.02.2026

ДРАПКИНА Оксана Михайловна – академик РАН, директор НМИЦ ТПМ Минздрава России, Москва, Российская Федерация, e-mail: drapkina@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4453-8430>. ПИРАДОВ Михаил Александрович – академик РАН, вице-президент РАН, директор Российского центра неврологии и нейронаук, Москва, Российская Федерация, e-mail: center@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6338-0392>. МЕШКОВ Алексей Николаевич – доктор медицинских наук, руководитель Института персонализированной терапии и профилактики НМИЦ ТПМ Минздрава России, Москва, Российская Федерация, e-mail: meshkov@lipidclinic.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5989-6233>. ЕРШОВА Александра Игоревна – доктор медицинских наук, руководитель лаборатории клиномики, заместитель директора по фундаментальной науке НМИЦ ТПМ Минздрава России, Москва, Российская Федерация, e-mail: alersh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7989-0760>. БОРИСОВА Анна Львовна – научный сотрудник, руководитель лаборатории “Банк биологического материала” Института персонализированной терапии и профилактики НМИЦ ТПМ Минздрава России, Москва, Российская Федерация, e-mail: a.borisova0108@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4020-6647>. ПОКРОВСКАЯ Мария Сергеевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории “Банк биологического материала” Института персонализированной терапии и профилактики НМИЦ ТПМ Минздрава России, Москва, Российская Федерация, e-mail: mprokrovskaia@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6985-7131>. ЕФИМЕНКО Анастасия Юрьевна – доктор медицинских наук, профессор РАН, зав. лабораторией репарации и регенерации тканей Центра регенеративной медицины Медицинского научно-образовательного института МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, e-mail: efimenkoay@my.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0696-1369>. ГЛИНКИНА Валерия Владимировна – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник Российский центр неврологии и нейронаук, Москва, Российская Федерация, e-mail: glinkina.v.v@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8708-6940>. СУХОРУКОВ Владимир Сергеевич – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией нейроморфологии Института мозга Российского центра неврологии и нейронаук, профессор кафедры морфологии Института анатомии и морфологии имени академика Ю.М. Лопухина ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Российская Федерация, e-mail: sukhorukov@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0552-6939>. ИЛЛАРИОШКИН Сергей Николаевич – академик РАН, заместитель директора по научной работе Российского центра неврологии и нейронаук, директор Института мозга Российского центра неврологии и нейронаук, заведующий кафедрой неврологии Научно-образовательного института клинической медицины им. Н.А. Семашко Российского университета медицины, Москва, Российская Федерация, e-mail: illarioshkin@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2704-6282>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040034

Review

BIOBANKING IS THE ENGINE OF LIFE SCIENCES DEVELOPMENT

O.M. Drapkina^{1,*}, M.A. Piradov², A.N. Meshkov¹, A.I. Ershova¹, A.L. Borisova¹,
M.S. Pokrovskaya¹, A.Yu. Efimenko³, V.V. Glinkina², V.S. Sukhorukov^{2,4}, S.N. Illarioshkin^{2,5}

¹*Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Centre for Therapy and Preventive Medicine” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

²*Federal State Budgetary Institution of Science “Russian Center for Neurology and Neuroscience”, Moscow, Russian Federation*

³*Medical Research and Educational Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

⁴*N.I. Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

⁵*Russian University of Medicine, Moscow, Russian Federation*

*E-mail: drapkina@bk.ru

Abstract. The key goal of the national project “New Health-Saving Technologies” is to achieve technological independence for Russia by 2030 in medical technologies, drug production, and diagnostic systems for the early detection and treatment of diseases significant to public health. Biobanking is a key tool for achieving these goals. Research biobanks are actively employed to identify and validate novel biomarkers of human diseases and biomarker-based risk calculators for disease onset and progression are being developed. The resources of research biobanks are used to create diagnostic test systems and identify new therapeutic targets. Biobanks have become an essential tool for medical science in the fields of multi-omics research, personalized medicine, and regenerative medicine.

Keywords: biobank, biobanking, bioresource collection, genetic research, personalized medicine, cell-based technologies, regenerative medicine, biotechnologies

Funding. The study was conducted without additional funding.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Compliance with Ethical Standards. This article does not contain any studies involving humans or animals.

Author Contributions. All authors made significant contributions to the conception, conduct of the study, and preparation of the article.

For Citation: Drapkina O.M., Piradov M.A., Meshkov A.N., Ershova A.I., Borisova A.L., Pokrovskaya M.S., Efimenko A.Yu., Glinkina V.V., Sukhorukov V.S., Illarioshkin S.N. Biobanking is the engine of life sciences development. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 314–331. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040034>

Received February 05, 2026

Revised February 05, 2026

Accepted February 25, 2026

ДРАПКИНА Оксана М. – Academician of the RAS, Director of National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: drapkina@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4453-8430>. ПИРАДОВ Михаил А. – Academician of the RAS, Vice President of the RAS, Director of the Russian Center for Neurology and Neurosciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: center@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6338-0392>. МЕШКОВ Alexey N. – Doctor of Medical Sciences, Head of Institute for Personalized Therapy and Prevention, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: meshkov@lipidclinic.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5989-6233>. ЕРШОВА Alexandra I. – Doctor of Medical Sciences, Head of Laboratory of Clinomics, Deputy Director of Fundamental Science, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: alersh@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-7989-0760>. БОРИСОВА Anna L. – Researcher, Head of Laboratory “Bank of biological material” of Institute for Personalized Therapy and Prevention, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: a.borisova0108@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4020-6647>. ПОКРОВСКАЯ Maria S. – PhD, Leading Researcher of Laboratory “Bank of biological material” of Institute for Personalized Therapy and Prevention, National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: mpokrovskaja@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6985-7131>. ЕФИМЕНКО Anastasia Yu. – Doctor of Medical Sciences, Professor of the RAS, Head of the Tissue Repair and Regeneration Laboratory, Centre for Regenerative Medicine, Medical Research and Educational Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, e-mail: efimenkoay@my.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0696-1369>. ГЛИНКИНА Valeria V. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Center for Neurology and Neurosciences”, Moscow, Russian Federation, e-mail: glinkina.v.v@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8708-6940>. СУХОРУКОВ Vladimir S. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Neuromorphology at the Brain Institute of the Russian Center for Neurology and Neurosciences, Professor of the Department of Morphology at the Yu. M. Lopukhin Institute of Anatomy and Morphology at the N. I. Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: sukhorukov@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0552-6939>. ИЛЛЯРИОШКИН Sergey N. – Academician of the RAS, Deputy Director for Research at the Russian Center for Neurology and Neuroscience, Director of the Brain Institute at the Russian Center for Neurology and Neuroscience, Head of the Neurology Department at the N.A. Semashko Scientific and Educational Institute of Clinical Medicine of the Russian University of Medicine, Moscow, Russian Federation, e-mail: illarioshkin@neurology.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2704-62>.

С 2025 года в России стартовал национальный проект “Новые технологии сбережения здоровья”¹. Ключевая цель проекта — достижение к 2030 г. технологической независимости в области медицинских технологий, производства лекарственных препаратов и медицинских изделий, в частности диагностических систем для раннего выявления значимых для здоровья населения болезней, новых терапевтических препаратов на основе клеточных технологий для регенеративной медицины.

Один из важнейших инструментов реализации этих задач — *биобанкирование*, благодаря которому бурно развиваются фундаментальные и прикладные исследования в области наук о жизни, повышается их эффективность и качество получаемых результатов. На базе научно-медицинских биобанков активно проводятся исследования по поиску и валидации новых *биомаркеров* (генетических, биохимических, протеомных, метаболомных и др.) заболеваний человека, создаются калькуляторы риска развития и прогрессирования патологий. Ресурсы исследовательских биобанков используются для разработки диагностических тест-систем, выявления новых мишеней для терапии. Биобанки формируют необходимую базу для мультиомиксных исследований, персонализированной и регенеративной медицины (рис. 1).

Биоресурсные коллекции образцов животных, растений и микроорганизмов помогают сохранять генофонд как редких природных организмов, так и достижения в области селекции, обеспечивать продовольственную и биобезопасность страны. Первой в истории стала коллекция семян научно-прикладного назначения, созданная в 1920-х годах советским генетиком Н.И. Вавиловым. Широко известным примером, показывающим важность использования биоресурсных коллекций различного биоматериала в рамках обеспечения продовольственной безопасности, служит Всемирное семеновохранилище на Шпицбергене: туннель расположен на глубине 130 метров, куда для безопасного хранения помещены образцы семян основных сельскохозяйственных культур (рис. 2). Задача биобанка семян — не допустить их уничтожения в результате возможных глобальных катастроф, таких как падение астероида, ядерная война или глобальное потепление [1].

Интересный пример — биобанк МГУ им. М.В. Ломоносова “Ноев ковчег”, который создан в целях сохранения и изучения биоразнообразия живых организмов, функций генов, механизмов поддержания клеточного гомеостаза, гетерогенности клеток, природных механизмов устойчивости к болезням, генетических механизмов регуляции активности транскрипции и др. “Ноев ковчег” — это 1.2 млн образцов биологических материалов всех живых организмов Земли [2].

Чтобы повысить уровень и воспроизводимость научных исследований, критически важно использовать качественный биоматериал. Для этого в биобанках не-

обходимо стандартизировать все процедуры пробоподготовки и условий хранения разных биоматериалов, осуществлять их надёжное безопасное хранение, безошибочно отслеживать движение биоматериала (приём и выдачу) [3–6]. Биобанки — это не только и не столько морозильные камеры, это комплексная сложная инфраструктура, обладающая целым рядом важных характеристик.

В специальной литературе можно обнаружить несколько определений понятия “биобанк”. В соответствии с терминологией Международного общества биологических и экологических репозиториев (ISBER), биобанк — это официально сформированное физически существующее или виртуальное учреждение, которое может принимать, обрабатывать, хранить и/или распространять образцы и/или пробы, а также ассоциированные с ними данные для применения в настоящий момент или в будущем [6]. Таким образом, биобанк — структура, создаваемая с целью долгосрочного ответственного хранения биологических образцов различного происхождения и ассоциированных с ними данных для их дальнейшего использования в научных и клинических исследованиях [7]. В зависимости от вида хранимого биоматериала и целей его дальнейшего использования можно выделить несколько основных типов биобанков: исследовательские (популяционные и нозологические), терапевтические и диагностические.

В глоссарии монографии “Биобанкирование. Национальное руководство” дано следующее общее для всех биобанков определение. Биобанк — это организация или подразделение организации, которая может принимать, обрабатывать, хранить и распространять биологические образцы и ассоциированные с ними данные для текущих и будущих исследований, диагностики и терапии в соответствии со стандартными операционными процедурами и включает в себя полный комплекс мероприятий, связанных с его функционированием [8]. Ключевым отличием биобанка от исследовательской коллекции биоматериала является наличие ряда компонентов:

- строгое соблюдение этических норм, регламентирующих использование биоматериала человека в научных исследованиях;
- наличие надёжной системы хранения биоматериала при необходимых заданных условиях;
- контроль условий хранения биообразцов и связанной с ними информации;
- стандартизация всех этапов процесса биобанкирования (соблюдение стандартных операционных процедур и утверждённых форм документов);
- наличие информации о биообразцах и донорах (преаналитические, лабораторные, медицинские, демографические и др. данные);
- ведение баз данных и наличие поисковых систем;
- обеспечение партнёрских отношений с другими организациями и биобанками [9].

Научные исследования в области биомедицины предъявляют высокие требования к качеству исполь-

¹ <http://government.ru/rugovclassifier/926/about/> (дата обращения 28.01.2026).

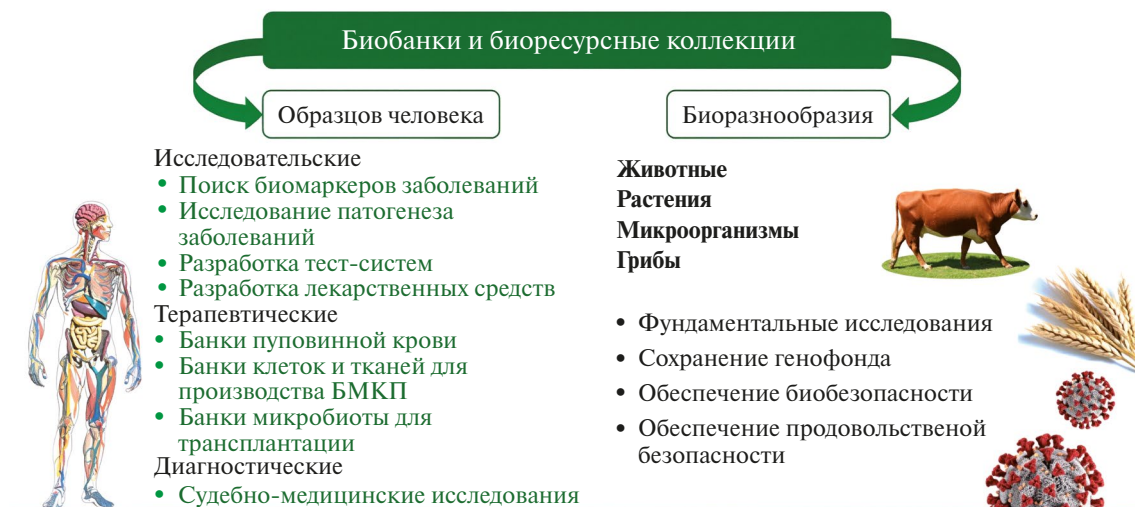


Рис. 1. Биобанки и биоресурсные коллекции
Fig. 1. Biobanks and bioresource collections

зуемого биоматериала. В связи с этим общемировой тенденцией стала инсталляция исследовательских биобанков как структурных подразделений научно-исследовательских и клинических медицинских центров. Показательный пример – созданный в 2014 г. в соответствии с требованиями мировых стандартов биобанк ФГБУ “НМИЦ терапии и профилактической медицины” Минздрава России (далее – НМИЦ ТПМ). Благодаря его организации стало возможным планирование и проведение крупномасштабных эпидемиологических проектов ЭССЕ-РФ (“Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и их факторов риска в регионах Российской Федерации”), включая сбор и хранение биоматериала. В соответствии с разработанным и валидированным алгоритмом биобанкирования здесь собраны образцы цельной крови,

сыворотки и плазмы крови от репрезентативной выборки населения разных регионов России. Информация о биологических образцах, донорах крови и лабораторных анализах всех участников сведена в единую базу данных. В общей сложности в настоящее время в биобанке хранятся биообразцы 79 516 участников из 41 региона России [10].

Роль биобанка в научно-практической деятельности НМИЦ постоянно возрастает. С его помощью реализуются все научно-медицинские проекты, связанные с использованием биоматериала. Стандартизированный преаналитический этап, надёжное хранение биообразцов в необходимых условиях и баз данных обеспечивают эффективное проведение исследований, в том числе проспективных и генетических, активно развивается генетическое направле-



**Международный банк семян
 (Шпицберген, Норвегия)**

Хранение посадочного материала всех сельскохозяйственных растений, существующих в мире – обеспечение продовольственной безопасности

**Московский государственный университет
 имени М.В. Ломоносова
 Проект “Ноев ковчег”
 “Научные основы создания
 национального депозитария живых систем”**



Рис. 2. Примеры биоресурсных коллекций различного биоматериала для обеспечения продовольственной безопасности и сохранения биоразнообразия

Fig. 2. Examples of bioresource collections of various biomaterials to ensure food security and preserve biodiversity

ние и персонализированная медицина [11]. Сейчас это крупнейший исследовательский нозологический и популяционный биобанк России, который в 2021 г. получил сертификат качества по международному стандарту ISO 9001:2015². Коллекции биоматериала постоянно пополняются (преимущественно образцами крови, сыворотки и плазмы крови) от пациентов НМИЦ ТПМ, в результате формируются выборки по нозологиям (сердечно-сосудистые, неврологические, гастроэнтерологические, онкологические заболевания и др.). Всего в биобанк за время его работы поступило более 1186100 образцов, 27% которых были выданы для проведения различных исследований. В настоящее время на хранении находятся более 908000 образцов.

БИОБАНКИ ДЛЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время генетические исследования, новейшие технологии и подходы к решению различных биомедицинских задач, как диагностических, прогностических, так и терапевтических, превратились в чрезвычайно актуальное направление, призванное вывести медицину на новый, персонализированный, уровень. Для развития этого направления необходимы определённые ресурсы, в том числе работа с большими выборками и базами данных. Биобанки и биобанкирование стали надёжной основой подобных исследований.

Можно выделить несколько ключевых современных направлений молекулярно-генетических исследований в области медицины, в которых успешно используется биобанкирование:

- изучение распространённости среди популяций генетических факторов риска развития различных заболеваний, генов лекарственной устойчивости, создание шкал генетического риска;
- поиск ранних биомаркеров риска развития различных заболеваний;
- разработка генетических панелей (тест-систем) для определения индивидуального риска развития патологий для внедрения в практическое здравоохранение (персонализированная медицина);
- разработка тест-систем для дифференциальной и ранней диагностики моногенных заболеваний;
- разработка неинвазивных методов диагностики онкологических заболеваний, пренатальной диагностики патологий плода.

Для проведения генетических исследований в зависимости от целей, методических потребностей и возможностей могут использоваться различные типы биоматериала. Чаще всего для проведения генетических исследований в биобанках формируют коллекции образцов цельной крови с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) (хранение в низкотемпературных морозильных камерах при температуре от -20°C до -80°C), плазмы крови с ЭДТА (хранение в низкотемпературных морозильных камерах при температуре

от -70°C до -80°C), тканей, клеток (криохранение при температуре -140°C и в парафиновых блоках при комнатной температуре), биоматериала, используемого в метагеномных исследованиях микробиоты кишечника – фекалии (хранение в низкотемпературных морозильных камерах при температуре от -20°C до -80°C). Для проведения генетических исследований из хранящегося в биобанке биоматериала выделяют ДНК, РНК, микроРНК, внеклеточную ДНК.

Важное значение для генетических исследований имеет количество доноров, участвующих в создании коллекции [12, 13]. Для изучения частоты распространения в популяциях вариантов нуклеотидных последовательностей (ВНП), ответственных за различные патологические состояния, необходимы большие репрезентативные выборки. Для изучения генетической предрасположенности к заболеваниям, генетически обусловленных заболеваний, в частности многофакторных, таких как атеросклероз, гипертония и др., необходимо по критериям включения постепенно набирать биоматериал и клиническую информацию от большого количества пациентов, создавать огромные когорты пациентов и популяционные выборки (от тысячи до сотен тысяч). Сделать это возможно исключительно с помощью технологии биобанкирования, которая позволяет собирать и хранить необходимое количество биоматериала и информации.

Результатом таких исследований становятся шкалы генетического риска (ШГР) для прогнозирования риска развития патологий и их осложнений и выбора тактики лечения и, как следствие, программы профилактики заболеваний. Внедрение ШГР в клиническую практику для прогнозирования индивидуального риска – это основа современной персонализированной медицины [14]. Самостоятельное актуальное направление – изучение генетических основ моногенных и редких заболеваний с целью создания тест-систем для диагностики и определения перспективных мишеней для разработки новых лекарств, в том числе генной терапии.

Хранящиеся в биобанках коллекции генотипированных биообразцов могут быть использованы в различных видах высокопроизводительных анализов, в том числе в качестве внешнего контроля при полногеномном поиске ассоциаций (GWAS, genome-wide association study) для редких и распространённых заболеваний. Данные полногеномного секвенирования (WGS, whole genome sequencing), имеющиеся в биобанках, могут быть использованы для создания панелей референсных генотипов [15].

Биобанкирование способствует переходу к точной (персонализированной) медицине. Развивается геномно-информированный подход к лечению при взаимодействии врача и пациента путём обсуждения результатов генетических исследований с интерпретацией специалиста. Развитие персонализированной медицины в целом тесно связано с работой биобанков и зависит от их количества, возможности сотрудничества между биобанками, создания сети биобанков [16].

Успехи современной медицинской генетики во многом обусловлены взаимодействием мировых био-

² <https://www.iso.org/ru/standards/popular/iso-9000-family> (дата обращения 28.01.2026).

банков. Российские исследователи провели систематическое сравнение сводной статистики GWAS для 679 сложных признаков в когортах UK Biobank (UKB) и FinnGen (FG) и продемонстрировали эффективность объединения данных крупных биобанков [17, 18]. Несколькими примерами российских биобанков показывают возможности реализации генетических исследований на их основе (рис. 3).

С помощью биобанка в НМИЦ ТПМ реализуются все научно-медицинские проекты, связанные с использованием биоматериала, в том числе широко-масштабные. Обширная база данных и биоматериал, собранный от 79516 участников, составивших представительную выборку по 41 региону Российской Федерации в рамках трёх этапов крупномасштабного эпидемиологического проекта (ЭССЕ-РФ, ЭССЕ-РФ2 и ЭССЕ-РФ3), послужили основой для большого количества научных исследований, в том числе генетических, связанных с изучением распространённости ВНП, ассоциированных с развитием различных заболеваний: гетерозиготной семейной гиперхолестеринемии [19], дисбеталипопротеидемии [20], носительства ВНП таких заболеваний, как муковисцидоз, фенилкетонурия, дефицит альфа-1-антитрипсина и нейросенсорная тугоухость [21–23]. Кроме того, была выявлена распространённость известных патогенных и новых или редких ВНП усечения белка (protein-truncating) в полном наборе генов ACMG59 [24].

На таком обширном материале можно разрабатывать и дополнять шкалы генетического риска, являющиеся основным инструментом современной генной диагностики [25–27]. Развивается также самостоятельное направление исследований – валидация ШГР на российской популяции различных заболеваний, включая ожирение, сахарный диабет 2 типа, остеопороз, артериальную гипертензию, ишемическую болезнь сердца.

В рамках других исследований с использованием разных коллекций биобанка НМИЦ ТПМ выявлены спектры генетических вариантов заболеваний: ИБС,

семейная гиперхолестеринемия, некомпактный миокард левого желудочка [13]. Одно из направлений генетических исследований на базе коллекций биобанка – проект по изучению ассоциации уровней микроРНК плазмы крови с различной выраженностью коллатерального кровообращения при хронической окклюзии коронарной артерии у пациентов с ишемической болезнью сердца [28].

Совместный генетический проект Биобанка Санкт-Петербургского государственного университета и Биобанка НМИЦ ТПМ дал мощный толчок изучению генетической основы развития сахарного диабета 2 типа. Исследование было посвящено открытию новых генных мишеней, связанных с ожирением и диабетом 2 типа. Обнаружено несколько высокоспецифичных для конкретного случая вариантов в генах, ранее напрямую не связанных с диабетом 2 типа и/или ожирением (например, TMC8, PCDHA1, PLEKHA5, HBQ1, VAV3 и ADAMTS13). Фармакогенетические открытия могут помочь в выявлении новых лекарственных мишеней, разработке алгоритма для персонализированного подхода к лечению диабета 2 типа [16, 29].

Биобанк Медико-генетического научного центра им. академика Н.П. Бочкова (ФГБНУ МГНЦ) организован в формате центра коллективного пользования (ЦКП “Биобанк”) и работает с двумя типами уникального биоматериала пациентов с генетическими заболеваниями: кровь/компоненты крови и витальные клеточные линии различного тканевого происхождения. Сохранение уникального генетического материала позволяет глубоко и комплексно его исследовать в течение длительного времени [30]. Для проведения исследований на установление и изучение маркеров генетической патологии в биобанке ежегодно депонируют ~10–11 тыс. образцов периферической (венозной) крови пациентов. Первичный биопсийный, аутопсийный и операционный материал подвергается специальному процессингу с целью получения целевых клеточных линий, несущих маркеры исследуемых заболеваний. С использованием метода направленной



Рис. 3. Биобанки для генетических исследований и биотехнологий

Fig. 3. Biobanks for genetic research and biotechnology

дифференцировки индуцированных плюрипотентных стволовых клеток, полученных из фибробластов кожи пациентов, разрабатывают прикладные технологии редактирования генома для лечения моногенных заболеваний [31]. Общая стратегия развития ЦКП “Биобанк” предполагает расширение сохраняемых видов биоматериала с целью наиболее полного изучения структур организма, подверженных разнообразной генетической патологии.

С использованием коллекции биоматериала и базы данных Биобанка НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта ведутся приоритетные исследования генетической предрасположенности к осложнениям течения беременности [32]. С использованием коллекций биоматериала в проспективном исследовании микроРНК в плазме в течение первого и второго триместров у беременных женщин с высоким риском преждевременных родов показано, что профиль микроРНК в плазме крови на ранних сроках беременности может предсказывать высокий риск преждевременных родов [33].

КЛЮЧЕВЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ КЛЕТОЧНЫХ КОЛЛЕКЦИЙ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОМЕДИЦИНЕ

Среди разнообразия хранимых в биобанках биоматериалов особое значение имеют клеточные коллекции, включающие живые клетки различного происхождения: от перевиваемых клеточных линий и первичных культур человека и животных до клеток микроорганизмов. Они широко востребованы для изучения фундаментальных механизмов заболеваний, скрининга лекарственных соединений, разработки новых препаратов, а также для создания персонализированных моделей патологий [34, 35].

Основные принципы создания и хранения клеточных коллекций

- Права донора биоматериала обеспечиваются подписанием информированного согласия – документа, который подробно разъясняет все аспекты использования клеточного материала (включая долгосрочное хранение) [36, 37].

- Обеспечение безопасности как конечного продукта, так и персонала биобанка (скрининг доноров на наличие вирусных инфекций).

- Сбор коллекций по критериям включения и исключения доноров.

- Использование двухуровневой системы: главный банк клеток (ГБК) (служит эталонным источником для всех последующих операций) и рабочий банк клеток (РБК).

- Длительное сохранение жизнеспособности и функциональных свойств клеток – краеугольный камень биобанкирования клеточных коллекций. Стандартным подходом является контролируемое медленное замораживание живых клеток (со скоростью около $-1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) в присутствии криопротекторов [38]. Альтернативный

метод – витрификация, то есть переход материала в стеклообразное состояние без образования кристаллов льда [39]. После замораживания образцы хранят в жидком азоте или его парах при сверхнизких температурах (ниже -150°C). Критически важно избегать повторных циклов замораживания-оттаивания и минимизировать время нахождения образцов вне криохранилища.

- Наличие системы контроля качества для обеспечения мониторинга четырёх ключевых параметров – аутентичность, чистота, стабильность и соответствие информированному согласию [39].

Ключевые направления использования клеточных коллекций в биомедицине

Стандартизированные и качественно охарактеризованные клеточные коллекции в биобанках служат основой для множества направлений современных биомедицинских и биотехнологических исследований, формируя связь между фундаментальной наукой и клинической практикой (рис. 4).

Помимо изучения конкретных заболеваний, репрезентативные клеточные коллекции представляют собой уникальный инструмент для фундаментальных исследований в области биологии развития, клеточной биологии и регенеративной биомедицины. Коллекции первичных клеток от доноров разного пола, возраста, этнической и географической принадлежности позволяют изучать естественное биоразнообразие клеточных функций и их генетическую детерминанту. Референсные коллекции от здоровых доноров служат базой для определения нормы при изучении патологических процессов, например, по таким параметрам, как пролиферативная активность, секреторный профиль, экспрессия генов и белков и другим. Особую ценность представляют коллекции стволовых и прогениторных клеток, изучение которых проливает свет на механизмы поддержания клеточного гомеостаза в тканях, процессы самообновления, дифференцировки и клеточного старения. Анализ гетерогенности клеточных популяций (например, с помощью методов секвенирования РНК единичных клеток и пространственной транскриптомики) на стандартизированных коллекциях помогает понять функциональное разнообразие клеток в рамках одной ткани и роль редких клеточных субпопуляций в физиологии и патологии. Генетически модифицированные клеточные линии, хранящиеся в банках, составляют ключевой ресурс функциональной геномики, позволяя устанавливать причинно-следственные связи между конкретными генами и клеточными фенотипами.

Клеточные линии, особенно стандартизированные и хорошо охарактеризованные (например, из международных депозитариев типа ATCC или ECACC), являются незаменимым инструментом для доклинических исследований. Они служат релевантными, воспроизводимыми и этически приемлемыми моделями для высокоэффективного скрининга библиотек химических и биологических соединений на активность и избирательность, а также для изучения механизмов действия



Рис. 4. Ключевые направления использования клеточных коллекций в биомедицине

Fig. 4. Key areas of use of cell collections in biomedicine

и резистентности к лекарственным препаратам, для исследований в области разработки вакцин и др. [40].

Технология создания индуцированных плюрипотентных стволовых клеток (ИПСК) произвела революцию в персонализированном подходе к лечению. Биобанкирование фибробластов или других соматических клеток пациентов, а также полученных из них линий ИПСК образует мощную платформу для разработки персонализированных клеточных и животных моделей заболеваний с целью диагностики, поиска новых терапевтических мишеней и подбора терапии [41, 42]. С использованием таких моделей становится возможным углублённое изучение патогенеза различных заболеваний на клетках, отражающих уникальный генетический бэкграунд конкретного пациента. Персонализированные клеточные модели становятся незаменимыми для поиска и валидации новых терапевтических мишеней, персонализированного скрининга лекарств, для оценки эффективности и безопасности существующих или новых препаратов на аутологичных клеточных моделях пациента, позволяют предсказать индивидуальный ответ на терапию и подобрать оптимальное лечение [43].

Важнейшее направление использования клеточных коллекций – разработка продуктов для клеточной и генной терапии и тканевой инженерии. Терапевтические биобанки специализируются на криоконсервации и хранении клеточного материала для непосредственного клинического применения в рамках регенеративной медицины и клеточной терапии [44]. Это направление включает в себя создание банков стволовых клеток, например аллогенных и аутологичных банков гемопоэтических стволовых клеток (пуповинная кровь, костный мозг), мезенхимальных стволовых/стромальных клеток (МСК) из жировой ткани, костного мозга, пульпы зуба и других тканевых источников, тканеспецифичных стволовых клеток, ИПСК. Клеточные коллекции специализированных

дифференцированных клеток, например, хондроцитов, фибробластов, кератиноцитов или различных линий иммунных клеток, включая Т-клетки для CAR-T терапии, также всё более активно используются для создания клеточных продуктов.

Банки клеток, используемых для производства вирусных векторов (лентивирусы, AAV), а также самих генетически модифицированных терапевтических клеток, необходимы для развития генной терапии. Качество и безопасность исходного клеточного банка (ГБК/РБК) – критически важные регуляторные параметры.

В тканевой инженерии важнейшим этапом является получение и хранение клеточных компонентов (остеобласты, фибробласты, эндотелиальные клетки и др. типы стволовых и специализированных клеток) для последующего нанесения на биосовместимые каркасы с целью создания тканеинженерных эквивалентов.

Стандартизированные и сертифицированные клеточные линии-продукты используются для решения следующих задач:

- промышленного производства биологических препаратов, например моноклональных антител, рекомбинантных белков (инсулин, факторы роста, вакцинные антигены), ферментов, вирусных вакцин;
- в синтетической биологии для создания новых биоматериалов: микробные коллекции (бактерии, дрожжи) выступают в качестве “фабрик” для производства биоразлагаемых пластиков, биотоплива, ароматизаторов и других ценных соединений в рамках концепции биоэкономики;
- ферментативного катализа и биоремедиации, в рамках которых специализированные клеточные культуры используют для очистки окружающей среды от загрязнителей;
- для оценки фармакологической активности препаратов.

Таким образом, к настоящему времени клеточные коллекции превратились в динамичные, многофункциональные платформы, интегрированные в цепочку создания инноваций в биомедицине и биотехнологиях — от фундаментальных знаний до разработки и производства персонализированных терапевтических продуктов и промышленных биотехнологий.

БИОБАНКИ ТКАНЕЙ

Образцы тканей человека, полученные в ходе хирургических операций, биопсий, вскрытий, трансплантаций, представляют большую ценность как для биомедицинских исследований, так и для диагностики заболеваний, подбора препаратов и контроля ответа на лечение. Поэтому столь актуальна проблема правильного хранения морфологического материала, организации биобанка тканевого материала на основе современных правил забора, фиксации и долгосрочного хранения образцов в интересах поддержки их гистологической структуры, иммунофенотипических характеристик, молекулярного состава [45].

Правила биобанкирования морфологического материала основаны на современных знаниях об особенностях сохранности различных биомолекул и структур, определяемых максимально большим числом возможных методических модификаций световой и электронной микроскопии. Учитывая быстрый рост числа как этих данных, так и новых методов исследования, правила хранения тканевого материала должны постоянно пересматриваться и совершенствоваться. Следует отметить, что некоторые аспекты ведения указанных образцов регулируются местным законодательством, и репозитории должны соответствовать этим требованиям.

Очевидно, что одним из самых перспективных направлений в морфологии является гистохимия в её различных вариантах (иммуногистохимия, ферментогистохимия, гистохимические модификации флуоресцентной и электронной микроскопии, мультиплексное профилирование гистохимических маркеров и т.п.), позволяющая оценивать распределение таргетных молекул в строго определённых тканевых и субклеточных локусах, их количественные соотношения и колокализацию. Соответственно, всё быстрее растёт спрос на услуги биобанков, способных гарантировать сохранность максимального спектра биомаркеров в морфологическом материале. Способы хранения в морфологических биобанках — парафиновые блоки тканей, фиксированные (например, в 10% формалине) образцы тканей, свежемороженые образцы тканей, гистологические образцы на стеклах, крупные орган-ные структуры.

Проблема создания и поддержания современного биобанка тканевых материалов чрезвычайно актуальна в том числе и для клинических дисциплин. Успешным примером обеспечения таких потребностей можно считать созданный в Российском центре неврологии и нейронаук (ФГБНУ РЦНН) нейробанк, который содержит коллекции биопсийного материала при заболеваниях нервной системы, патологических образцов

головного мозга и его сосудов, срезов на стеклах, крупных структур. В настоящее время в этом нейробанке хранятся блоки фрагментов головного мозга и других отделов нервной системы, полученные от 737 пациентов с нарушениями мозгового кровообращения и другими неврологическими заболеваниями (нейродегенеративными, демиелинизирующими, опухолевыми и т.д.), а также 1013 блоков внутренних органов. Значительный объём архивного материала составляют гистологические препараты головного мозга и внутренних органов на стеклах, окрашенные различными методами. В нейробанке имеется также архивный материал для электронномикроскопического исследования биоптатов нервов, скелетных мышц, кожи, сосудов, полученный от пациентов с нервно-мышечными заболеваниями [46, 47].

В последние годы для диагностики различных опухолей всё более широкое применение получают *иммуногистохимические методы*. Разработано большое количество моноклональных антител к структурным элементам ткани, которые с высокой степенью достоверности позволяют диагностировать характер опухоли и степень её злокачественности, что имеет решающее значение для определения тактики и стратегии лечения больных [48]. Так, в нейроонкологии для диагностики различного вида опухолей нервной системы принято выделять следующие маркеры: глиальные (кислый глиофибрилярный белок, белок S100); нейрональные (синаптофизин, хромогранин, NeuN, белки нейрофиламентов); эпителиальные (цитокератины, эпителиальный мембранный антиген); маркеры пролиферации (Ki-67, фос-фогистона H3 и др.). Важно подчеркнуть, что для иммуногистохимического исследования может использоваться не только материал, полученный при биопсии, в ходе операции или *post mortem*, но также и архивный материал.

Большое значение имеет *биобанкирование крупных структур*. Так, в РЦНН находится крупная коллекция уникальных объектов: пантеон мозга с коллекцией мозга выдающихся людей; музей эволюции мозга; коллекция мозга человека в пренатальном и постнатальном онтогенезе и в процессе старения, включая образцы мозга мужчин и женщин в зрелом, пожилом и старческом возрасте; коллекция патологоанатомических макропрепаратов мозга с признаками различных неврологических заболеваний.

Пантеон мозга ФГБНУ РЦНН содержит большое число образцов мозга выдающихся деятелей отечественной науки, культуры и общественно-политической жизни. Исследования цитоархитектоники мозга выдающихся людей, работавших в разных областях, позволили получить новые данные об особенностях нейронного состава и глиальной организации их церебральных корковых формаций и выдвинуть гипотезу об особенностях старения мозга общепризнанных гениев, в том числе сохранявших активное творческое долголетие. Эти исследования в настоящее время активно продолжаются с привлечением ряда новых технологий (в том числе молекулярно-генетических), что позволит глубже понять основы когнитивной и творческой одарённости людей

разных профессий и возрастов. Самостоятельное значение имеет созданный в ФГБНУ РЦНН Музей эволюции мозга. В нём депонированы свыше 350 экспонатов мозга животных и человека, которые показывают развитие мозга в сравнительно-анатомическом ряду, а также в онтогенезе (рис. 5).

Важным преимуществом и принципиальным отличием созданного в ФГБНУ РЦНН нейробанка являются непрерывные серии фронтальных срезов (рис. 6): в некоторых случаях число срезов достигает нескольких тысяч. Благодаря этому можно осуществлять реконструкцию мозга и создавать цитоархитектонические карты, определять величину каждой корковой и подкорковой формации, выраженность границ между отдельными корковыми структурами, глубину борозд и т.д. Собранная коллекция позволяет на новом уровне развивать нейроморфологию мозга человека, получать принципиально новые данные об особенностях макроскопии, цитоархитектоники и глиоархитектоники корковых формаций мозга человека [49, 50].

БИОБАНКИ МИКРОБИОТЫ

Актуальная задача – исследование *микробиомов* в организме человека. Большое внимание уделяется изучению зависимости состава кишечной микробиоты (КМ) от развития различных неинфекционных и инфекционных заболеваний. Получены убедительные данные, подтверждающие, что изменение состава микробиоты кишечника участвует в патогенезе ряда заболеваний, включая неалкогольную жировую болезнь печени, болезнь Крона, язвенный колит и др.

Исследования в этом направлении тесно связаны с биобанками КМ, в которых сбор и хранение биоматериала сопровождается созданием максимально широкой базы клинических данных.

Индивидуальные особенности микробиома учитываются в персонализированной профилактике и терапии многих соматических и инфекционных заболеваний. Показано, что коррекция микробиома возможна с использованием аутопробиотиков – собственных полезных представителей микробиоты пациента, которые могут быть выделены, сохранены и многократно использованы в профилактических и терапевтических целях. Этот подход требует создания специализированных биобанков, которые позволят организовать сбор, хранение и последующее использование аутопробиотиков [51–54].

Одно из направлений развития биобанков КМ – хранение биообразцов для последующей трансплантации фекальной микробиоты. На сегодняшний день клинически обоснованным показанием для ТФМ остаётся рецидивирующая форма инфекции *Clostridioides difficile* (ИКД), а также тяжёлая форма ИКД без ответа на антибиотикотерапию. Методика ТФМ активно изучается в рамках клинических испытаний, которые требуют участия биобанков КМ. Помимо заболеваний желудочно-кишечного тракта, рассматривается потенциал ТФМ в лечении метаболических нарушений (ожирение), поражений печени, психоневрологических расстройств (депрессия, аутизм), а также аутоиммунных и аллергических состояний [55].



Рис. 5. Экспозиция мозга человека
 Fig. 5. Exhibit of the human brain



Рис. 6. Шибр с препаратами мозга
 Fig. 6. Shibr with brain preparations

ЦИФРОВЫЕ БИОБАНКИ

Развитие биобанкирования и современных методов диагностики привело к формированию нового типа биобанков — цифровых, включающих помимо традиционных биологических образцов и связанных с ними клинических записей мультиомиксные данные, данные электронных медицинских карт и медицинской визуализации (МРТ, КТ, цифровая микроскопия и гистология и др. изображения) в качестве бесценного актива для биомедицинских исследований и клинической диагностики [56].

Оцифровка данных биобанков и биоресурсных коллекций — современный тренд в науке и медицине, позволяющий переводить биологические образцы и связанную с ними клиническую информацию в цифровые двойники, трансформируя исчерпаемый ресурс биобанков (биообразцы расходуются при проведении исследований) в неисчерпаемый, поскольку информация, накопленная за время изучения биообразца, становится базой для проведения новых исследований. Переход к цифровым платформам обеспечивает новые возможности для проведения совместных исследований, ускоряет прогресс в прецизионной медицине, позволяя изучать взаимосвязи различных типов данных. Следует отметить, что только такой подход обеспечивает возможность научных исследований с применением искусственного интеллекта [57].

Значительные успехи внедрения инструментов машинного обучения и искусственного интеллекта достигнуты в изучении онкологических заболеваний. Благодаря таким технологиям анализа данных удаётся выявлять сложные закономерности, взаимосвязи и прогностические маркеры, повышая точность и эффективность диагностики и лечения онкологических больных [57].

Важный аспект цифровизации биобанкирования — стандартизация и гармонизация данных [58]. Значительная часть современных медицинских данных недостаточно совместима: информация хранится в изолированных биобанках или медицинских учреждениях, в несовместимых системах, что создаёт трудности для обмена данными, их анализа и интерпретации. В последние годы всё чаще в контексте деятельности биобанков используется принцип FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable), который предполагает возможность поиска, доступности, совместимости и повторного использования биообразцов и связанных с ними данных [59, 60]. Стандартизация форматов данных, разработка единых словарей и справочников имеет важное значение для обеспечения согласованности и совместимости различных наборов данных, хранящихся в биобанках [61, 62].

Цифровые биобанки, включающие масштабные коллекции медицинских изображений, геномную информацию, требуют чрезвычайно больших хранилищ. Важно правильно организовать и содержать цифровые биобанки, иначе возникает риск потери ценной информации. Обеспечение сохранности данных, ис-

пользование надёжных методов их шифрования при соблюдении условий конфиденциальности — сложная, но актуальная задача [56].

НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ БИОБАНКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПО БИОБАНКИРОВАНИЮ (НАСБИО)

Проблемой биобанкирования озабочены многие российские специалисты в разных областях науки. В 2018 г. инициативная группа учёных из ведущих российских исследовательских и образовательных организаций создала Национальную ассоциацию биобанков и специалистов по биобанкированию (НАСБИО). Сегодня ассоциация объединяет большинство биобанков Российской Федерации. Эксперты НАСБИО принимают участие в разработке стандартов, содержащих требования к процессу биобанкирования различных биоматериалов, и организации деятельности биобанков в составе Технического комитета № 326 “Биотехнологии” Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) и в составе экспертных групп Технического комитета ТС/ISO 276 Biotechnology Международной организации по стандартизации (International Organization of Standardization, ISO).

Работа по стандартизации очень важна с точки зрения повышения качества используемого в исследованиях и биотехнологических разработках биоматериала, гармонизации деятельности биобанков, формирования единой терминологической и методической базы биобанкирования на национальном уровне. Это направление тесно связано с актуальной задачей НАСБИО — организацией сети биобанков России для повышения эффективности и качества научно-практической деятельности, связанной с использованием биоматериала.

Важный аспект развития сети биобанков — создание единой централизованной платформы для доступа к данным, ассоциированным с биообразцами, всех биобанков. В целях создания такой единой цифровой платформы в настоящее время в рамках импортозамещения разрабатываются российские программные продукты для информационного сопровождения как отдельных биобанков, так и создания единой их сети. Единая цифровая платформа с поисковой системой, модульной архитектурой для обмена данными через API (Application Programming Interface — программный интерфейс приложения), с едиными стандартами маркировки различных биообразцов и названий полей, с данными о биообразцах и о клинических, демографических и др. исследованиях доноров позволит разработчикам диагностических систем, новых лекарственных средств, биотехнологам и исследователям использовать мощный российский ресурс, повысить биотехнологическую независимость страны [63].

Концепция организации и работы национальной сети биобанков представлена на рисунке 7. Ключевой элемент этой схемы — информационно-поисковая платформа, на которой должна происходить агрегация данных разных биобанков страны.

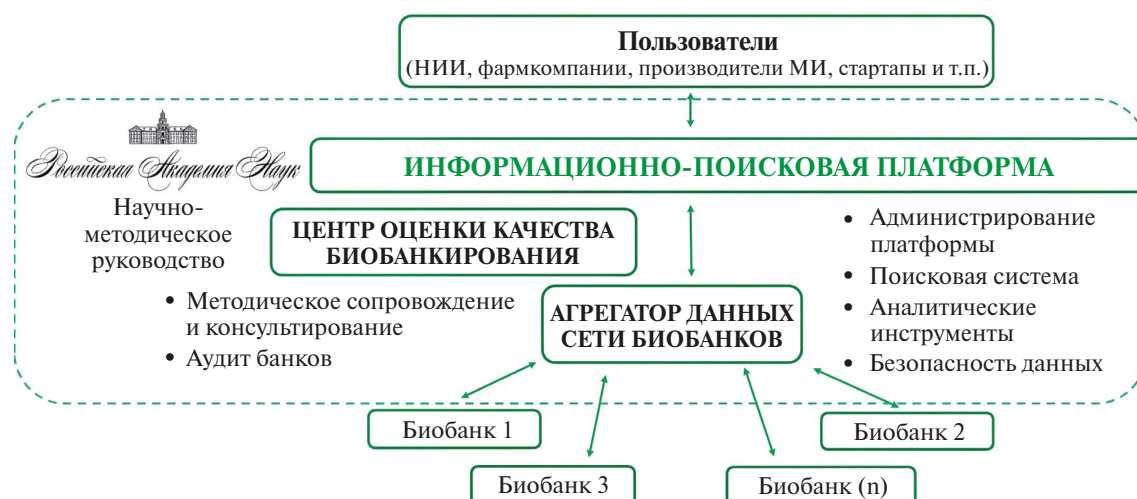


Рис. 7. Схема работы центральной платформы, объединяющей биобанки в национальную сеть
Fig. 7. Scheme of operation of the central platform uniting biobanks into a national network

Необходимым условием включения биобанка в сеть будет подтверждение наличия у него системы менеджмента, обеспечивающей стандартизацию биобанкирования, а также высокое качество образцов и связанной с ними информации. Поэтому на данном этапе важно создать структуру оценки качества биобанкирования с функциями методического сопровождения и консультирования, проведения аудитов биобанков экспертами. Такая задача может быть решена путём создания системы добровольной сертификации менеджмента качества биобанков (это общепризнанная мировая практика). Потенциальные пользователи центральной платформы – научные организации, фармацевтические и биотехнологические компании, разработчики и производители диагностических систем и других медицинских изделий.

Нормативную базу биобанкирования формируют нормативно-правовые документы (федеральные законы, приказы, постановления Правительства РФ), нормативно-технические документы (российские и международные стандарты, содержащие требования к проведению биобанкирования различных типов биоматериала), а также базовый международный акт, регулирующий нормы биоэтики, – Хельсинкская декларация о принципах проведения медицинских исследований.

Однако в настоящее время в Российской Федерации сохраняется пробел в регулировании деятельности биобанков образцов человека, включая требования к стандартизации и качеству биобанкирования. По аналогии с Федеральным законом от 30.11.2024 № 428-ФЗ “О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях” (он не затрагивает биообразцы человека) необходим отдельный закон о *биобанкировании образцов человека*, который регулировал бы этические аспекты биобанкирования, вопросы хранения персональных данных и т.п., способствовал бы популяризации биобанкирования и его стандартизации, использованию биообразцов человека для научных и клинических задач.

Создание национальной сети биобанков, безусловно, повысит эффективность работы, связанной с биотехнологической независимостью России. По инициативе НАСБИО необходимость создания национальной сети биобанков обсуждалась 22 мая 2025 г. на заседании научного совета РАН “Науки о жизни”. Научно-методическое руководство созданием и функционированием национальной сети биобанков предлагается осуществлять совместно экспертами РАН и НАСБИО. Ассоциация стремится консолидировать мнение экспертного сообщества относительно биобанкирования. В сентябре 2025 г. в Москве прошла двухдневная IV конференция с международным участием “Биобанкирование–2025: от биокolleкций к инновациям”. В резолюции конференции признано необходимым:

- считать биобанкирование неотъемлемой частью НИОКР по разработке лекарственных средств, диагностических тестов, проведения фундаментальных медико-биологических исследований;
- поддержать инициативу НАСБИО по созданию единой цифровой платформы национального реестра биообразцов человека и связанной с ними информации;
- внедрять систему менеджмента качества в российских биобанках для обеспечения высокого качества научных исследований;
- способствовать развитию нормативной правовой базы биобанкирования различных типов биоматериала человека в комплексе с развитием генетических технологий;
- инициировать создание единого реестра контрольных образцов и стандартов.

Заключая, следует подчеркнуть, что биобанкирование представляет собой комплексный наукоёмкий процесс, неотъемлемую часть фундаментальных и прикладных медико-биологических исследований, научно-исследовательских и опытно-конструкторских

работ по разработке лекарственных средств, биомедицинских клеточных продуктов и диагностических тестов. Развитие национальной сети биобанков био-

образцов человека соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Шац М.М. Хранение семенного материала в низкотемпературных условиях. *Аграрная наука*. 2019. № 6. С. 42–49. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-329-6-42-49>
Shats M.M. Storage of seed material under low-temperature conditions. *Agrarian science*. 2019, no. 6, pp. 42–49. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-329-6-42-49> (In Russ.)
2. Kalyakin M.V., Seregin A.P., Solovchenko A.E. et al. “Noah’s Ark” Project: Interim Results and Outlook for Classic Collection Development. *Acta Naturae*. 2018, vol. 10, no. 4, pp. 49–58. <https://doi.org/10.32607/2075851-2018-10-4-49-58>
3. Barnes R., Albert M., Damaraju S., et al. Generating a comprehensive set of standard operating procedures for a biorepository network-The CTRNet experience. *Biopreservation and Biobanking*. 2013, vol. 11, no. 6, pp. 387–396. <https://doi.org/10.1089/bio.2013.0061>
4. Linsen L., T’Joel V., Van Der Straeten C., et al. Biobank Quality Management in the BBMRI.be Network. *Frontiers in Medicine (Lausanne)*. 2019, vol. 6, pp. 141. <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00141>
5. Покровская М.С., Борисова А.Л., Метельская В.А. и др. Роль биобанкирования в организации крупномасштабных эпидемиологических исследований. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021. Т. 20. № 5. С. 2958. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2958>
Pokrovskaya M.S., Borisova A.L., Metelskaya V.A., et al. The role of biobanking in organizing large-scale epidemiological studies. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021, vol. 20, no. 5, pp. 2958. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2958> (In Russ.)
6. Snapes E., Simeon-Dubach D. ISBER Best Practices for Repositories, Moving Toward the Fifth Edition. *Biopreservation and Biobanking*. 2022, vol. 20, no. 1, pp. 107–108. <https://doi.org/10.1089/bio.2022.29102.ejs>
7. Hallmans G., Vaught J.B. Best practices for establishing a biobank. *Methods in Molecular Biology*. 2011, vol. 675, pp. 241–260. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-423-0_13
8. Биобанкирование. *Национальное руководство* / С.В. Анисимов, Т.М. Ахмеров, О.П. Балановский и др. М.: Издательство ТРИУМФ, 2022. ISBN 978-5-93673-322-2
Biobanking. National guidelines / S.V. Anisimov, T.M. Akhmerov, O.P. Balanovsky, et al. Moscow: TRIUMF Publishing House, 2022. ISBN 978-5-93673-322-2 (In Russ.)
9. Борисова А.Л., Покровская М.С., Метельская В.А. и др. Влияние преаналитических факторов на стабильность биохимических показателей сыворотки и плазмы крови (обзор литературы). *Российский кардиологический журнал*. 2025. Т. 30. № 11. С. 6578. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6578>
Borisova A.L., Pokrovskaya M.S., Metelskaya V.A., et al. The influence of preanalytical factors on the stability of biochemical parameters of blood serum and plasma (literature review). *Russian Journal of Cardiology*. 2025, vol. 30, no. 11, pp. 6578. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6578> (In Russ.)
10. Покровская М.С., Борисова А.Л., Имаева А.Э. и др. Интеграция технологий биобанкирования в протоколы крупномасштабных проспективных эпидемиологических исследований. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2025. Т. 21. № 5. С. 466–474. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2025-3248>
Pokrovskaya M.S., Borisova A.L., Imaeva A.E., et al. Integration of biobanking technologies into protocols of large-scale prospective epidemiological studies. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2025, vol. 21, no. 5, pp. 466–474. <https://doi.org/10.20996/1819-6446-2025-3248> (In Russ.)
11. Pokrovskaya M.S., Sivakova O.V., Efimova I.A., et al. Biobanking as a Necessary Tool for Research in the Field of Personalized Medicine in the Scientific Medical Center. *Personalized Medicine*. 2019, vol. 16, no. 6, pp. 501–509. <https://doi.org/10.2217/pme-2019-0049>
12. Choi S.W., Mak T.S.H., O’Reilly P.F. Tutorial: a guide to performing polygenic risk score analyses. *Nature Protocols*. 2020, no. 15, pp. 2759–2772. <https://doi.org/10.1038/s41596-020-0353-1>
13. Покровская М.С., Борисова А.Л., Киселева А.В. и др. Роль биобанкирования в развитии персонализированной медицины в России и в мире. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2024. Т. 23. № 11. С. 4214. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4214>
Pokrovskaya M.S., Borisova A.L., Kiseleva A.V., et al. The role of biobanking in the development of personalized medicine in Russia and in the world. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2024, vol. 23, no. 11, pp. 4214. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4214> (In Russ.)
14. Li R., Chen Y., Ritchie M.D., Moore J.H. Electronic health records and polygenic risk scores for predicting disease risk. *Nature Reviews Genetics*. 2020, no. 21, pp. 493–502. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0224-1>

15. Зайченко М., Ершова А.И., Киселева А.В. и др. Поиск и репликация ассоциаций вариантов генома с уровнями липидов в выборке из представителей российской популяции. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2023. Т. 22. № 12. С. 3871. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3871>
 Zaychenoka M., Ershova A.I., Kiseleva A.V., et al. Search and replication of associations of genome variants with lipid levels in a sample of representatives of the Russian population. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023, vol. 22, no. 12, p. 3871. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3871> (In Russ.)
16. Lazareva T.E., Barbitoff Y.A., Changalidis A.I., et al. Biobanking as a Tool for Genomic Research: From Allele Frequencies to Cross-Ancestry Association Studies. *Journal of Personalized Medicine*. 2022, vol. 12, no. 12, p. 2040. <https://doi.org/10.3390/jpm12122040>
17. Tkachenko A.A., Changalidis A.I., Maksiukenko E.M., et al. Replication of Known and Identification of Novel Associations in Biobank-Scale Datasets: A Survey Using UK Biobank and FinnGen. *Genes*. 2024, vol. 15, no. 7, p. 931. <https://doi.org/10.3390/genes15070931>
18. Changalidis A.I., Maksiukenko E.M., Barbitoff Y.A., et al. Aggregation of Genome-Wide Association Data from FinnGen and UK Biobank Replicates Multiple Risk Loci for Pregnancy Complications. *Genes*. 2022, vol. 13, no. 12, p. 2255. <https://doi.org/10.3390/genes13122255>
19. Meshkov A.N., Ershova A.I., Kiseleva A.V., et al. The prevalence of heterozygous familial hypercholesterolemia in selected regions of the Russian federation: The FH-ESSE-RF study. *Journal of Personalized Medicine*. 2021, vol. 11, no. 6, p. 464. <https://doi.org/10.3390/jpm11060464>
20. Blokhina A.V., Ershova A.I., Kiseleva A.V., et al. Applicability of diagnostic criteria and high prevalence of familial dysbetalipoproteinemia in Russia: A pilot study. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023, vol. 24, no. 17, p. 13159. <https://doi.org/10.3390/ijms241713159>
21. Sotnikova E.A., Kiseleva A.V., Kutsenko V.A., et al. Identification of Pathogenic Variant Burden and Selection of Optimal Diagnostic Method Is a Way to Improve Carrier Screening for Autosomal Recessive Diseases. *Journal of Personalized Medicine*. 2022, vol. 12, no. 7, p. 1132. <https://doi.org/10.3390/jpm12071132>
22. Kiseleva A.V., Klimushina M.V., Sotnikova E.A., et al. A Data Driven Approach to Carrier Screening for Common Recessive Diseases. *Journal of Personalized Medicine*. 2020, vol. 10, no. 3, p. 140. <https://doi.org/10.3390/jpm10030140>
23. Kiseleva A., Klimushina M., Sotnikova E., et al. Cystic Fibrosis Polymorphic Variants in a Russian Population. *Pharmacogenomics and Personalized Medicine*. 2020, vol. 13, pp. 679–686. <https://doi.org/10.2147/PGPM.S278806>
24. Ramensky V.E., Ershova A.I., Zaichenoka M., et al. Targeted Sequencing of 242 Clinically Important Genes in the Russian Population From the Ivanovo Region. *Frontiers in Genetics*. 2021, vol. 12, p. 709419. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.709419>
25. Шальнова С.А., Имаева А.Э., Куценко В.А. и др. Гиперурикемия и артериальная гипертензия у лиц трудоспособного возраста: результаты популяционного исследования. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2023. Т. 22. № 9S. С. 3783. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3783>
 Shalnova S.A., Imaeva A.E., Kutsenko V.A., et al. Hyperuricemia and arterial hypertension in individuals of working age: results of a population study. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023, vol. 22, no. 9S, p. 3783. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3783> (In Russ.)
26. Шальнова С.А., Драпкина О.М., Концевая А.В. и др. Пилотный проект по изучению тропонина I в представительной выборке одного из регионов участников исследования ЭССЕ-РФ: распределение в популяции и ассоциации с факторами риска. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021. Т. 20. № 4. С. 2940. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2940>
 Shalnova S.A., Drapkina O.M., Kontsevaya A.V., et al. A pilot project to study troponin I in a representative sample of one of the regions participating in the ESSE-RF study: population distribution and associations with risk factors. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021, vol. 20, no. 4, p. 2940. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2940> (In Russ.)
27. Концевая А.В., Шальнова С.А., Драпкина О.М. Исследование ЭССЕ-РФ: эпидемиология и укрепление общественного здоровья. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021. Т. 20. № 5. С. 2987. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2987>
 Kontsevaya A.V., Shalnova S.A., Drapkina O.M. ESSE-RF study: epidemiology and strengthening of public health. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021, vol. 20, no. 5, p. 2987. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2987> (In Russ.)
28. Киселёва А.В., Васильев Д.К., Сопленкова А.Г. и др. Ассоциация уровней циркулирующих микроРНК плазмы с различной выраженностью коллатерального кровообращения при хронической окклюзии коронарной артерии у пациентов с ИБС: пилотное исследование. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2024. Т. 23. № 7. С. 4086. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4086>
 Kiseleva A.V., Vasiliev D.K., Soplenskova A.G., et al. Association of circulating plasma microRNA levels with varying degrees of collateral circulation in chronic coronary artery occlusion in patients with coronary artery disease:

- a pilot study. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2024, vol. 23, no. 7, p. 4086. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4086> (In Russ.)
29. Nasykhova Y.A., Tonyan Z.N., Mikhailova A.A. et al. Pharmacogenetics of Type 2 Diabetes—Progress and Prospects. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020, vol. 21, no. 18, p. 6842. <https://doi.org/10.3390/ijms21186842>
 30. Табаков В.Ю. Организация биобанкирования для обеспечения медико-генетических исследований. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021. Т. 20. № 8. С. 3027. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-3027>
Tabakov V.Yu. Organization of biobanking for medical genetic research. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021, vol. 20, no. 8, p. 3027. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-3027> (In Russ.)
 31. Kondrateva E., Demchenko A., Slesarenko Y., et al. Derivation of iPSC line (RCMGi002-A) from dermal fibroblasts of a cystic fibrosis female patient with homozygous F508del mutation. *Stem Cell Research*. 2021, vol. 53, p. 102251. <https://doi.org/10.1016/j.scr.2021.102251>
 32. Glotov A.S., Kazakov S.V., Vashukova E.S., et al. Targeted sequencing analysis of ACVR2A gene identifies novel risk variants associated with preeclampsia. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. 2019, vol. 32, no. 17, pp. 2790–2796. <https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1449204>
 33. Illarionov R.A., Pachuliia O.V., Vashukova E.S., et al. Plasma miRNA Profile in High Risk of Preterm Birth during Early and Mid-Pregnancy. *Genes*. 2022, vol. 13, no. 11, p. 2018. <https://doi.org/10.3390/genes13112018>
 34. Coppola L., Cianflone A., Grimaldi A.M., et al. Biobanking in health care: evolution and future directions. *Journal of Translational Medicine*. 2019, vol. 17, pp. 172–190. <https://doi.org/10.1186/s12967-019-1922-3>
 35. Annaratone L., De Palma G., Bonizzi G., et al. Basic principles of biobanking: from biological samples to precision medicine for patients. *Virchows Archiv*. 2021, vol. 479, pp. 233–246. <https://doi.org/10.1007/s00428-021-03151-0>
 36. Bryzgalina E.V., Alasania K.Y., Varkhotov T.A., et al. The Social Dimension of Biobanking: Objectives and Challenges. *Life Sciences, Society and Policy*. 2017, vol. 13, pp. 15–25. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0059-5>
 37. Брызгалина Е.В., Гавриленко С.М., Вархотов Т.А. и др. Специфика информированного согласия доноров депозитариев биоматериалов. *Технологии живых систем*. 2018. Т. 15. № 2. С. 4–15. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-12-84-90>
Bryzgalina E.V., Gavrilenko S.M., Varkhotov T.A., et al. Specifics of informed consent of donors of biomaterial depositories. *Technologies of living systems*. 2018, vol. 15, no. 2, pp. 4–15. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-12-84-90> (In Russ.)
 38. Jang T.H., Park S.C., Yang J.H. et al. Cryopreservation and its clinical applications. *Integrative Medicine Research*. 2017, vol. 6, no. 1, pp. 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2016.12.001>
 39. *ISBER Best Practices: recommendations for repositories*. Fourth edition / Ed. D. Lori. Campbell, 2018.
 40. De Paoli P. Biobanking in microbiology: From sample collection to epidemiology, diagnosis and research. *FEMS Microbiology Reviews*. 2005, vol. 29, no. 5, pp. 897–910. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2005.01.005>
 41. Mall M., Wernig M. The novel tool of cell reprogramming for applications in molecular medicine. *Journal of Molecular Medicine*. 2017, vol. 95, pp. 695–703. <https://doi.org/10.1007/s00109-017-1550-4>
 42. Medvedev S.P., Malankhanova T.B., Valetdinova K.R., et al. Creation and Research of Cell Models of Hereditary Neurodegenerative Diseases Using Directed Genome Editing. *Neurochemical Journal*. 2021, vol. 15, pp. 353–358. <https://doi.org/10.1134/S1819712421040073>
 43. Zarei A., Razban V., Hosseini S.E., Tabei S.M.B. Creating cell and animal models of human disease by genome editing using CRISPR/Cas9. *Journal of Gene Medicine*. 2019, vol. 21, p. e3082. <https://doi.org/10.1002/jgm.3082>
 44. Harris D.T. Biobanking and Regenerative Medicine: An Overview. *Journal of Clinical Medicine*. 2018, vol. 7, no. 6, p. 131. <https://doi.org/10.3390/jcm7060131>
 45. Муджири Н.М., Воронкова А.С., Баранич Т.И. и др. Особенности биобанкирования морфологического материала. Биобанкирование. *Национальное руководство*. М.: Издательство ТРИУМФ, 2022. Гл. 11, с. 253–274.
Mudzhihi N.M., Voronkova A.S., Baranich T.I., et al. Features of biobanking of morphological material. *Biobanking. National guidelines*. Moscow: TRIUMF Publishing House, 2022. Chapter 11, pp. 253–274. (In Russ.)
 46. Сухоруков В.С., Харламов Д.А. *Врождённые миопатии*. М.: Пресс Арт, 2010.
Sukhorukov V.S., Kharlamov D.A. *Congenital myopathies*. М.: Press Art, 2010. (In Russ.)
 47. Dubowitz V., Sewry C.A., Oldfors A. *Muscle Biopsy*. 5th ed. Elsevier, 2021. ISBN 0702078581.
 48. Пирадов М.А., Иллариошкин С.Н., Танащян М.М. (ред.) *Неврология XXI столетия. Диагностические, лечебные и исследовательские технологии*: в 3 т. М.: АТМО, 2015. ISBN 978-5-902123-64-4
Piradov M.A., Illarioshkin S.N., Tanashyan M.M. (eds.) *Neurology of the 21st Century. Diagnostic, Treatment, and Research Technologies*: in 3 volumes. Moscow: АТМО, 2015. ISBN 978-5-902123-64-4 (In Russ.)

49. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И. *Мозг мужчины, мозг женщины*. М.: Галлея Принт, 2014. ISBN: 978-5-9905509-3-3
 Bogolepova I.N., Malofeeva L.I. *The Brain of a Man, the Brain of a Woman*. Moscow: Galley Print, 2014. ISBN: 978-5-9905509-3-3 (In Russ.)
50. Боголепова И.Н., Малофеева Л.И., Агапов П.А. *Старение мозга мужчин и женщин*. М.: ФГБНЦ НЦН, 2019. ISBN 978-5-907036-33-8
 Bogolepova I.N., Malofeeva L.I., Agapov P.A. *Brain aging in men and women*. Moscow: Federal State Budgetary Scientific Center of Neuroscience, 2019. ISBN 978-5-907036-33-8 (In Russ.)
51. Суворов А.Н. Микробная персоналифицированная терапия как новый инструмент лечащего врача. *Российский журнал персонализированной медицины*. 2022. Т. 2. № 1. С. 51–62. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-1-51-62>
 Suvorov A.N. Personalized microbial therapy as a new tool for the attending physician. *Russian Journal of Personalized Medicine*. 2022, vol. 2, no. 1, pp. 51–62. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-1-51-62> (In Russ.)
52. Апарцин К.А. Создание сети банков фекальной микробиоты в Российской Федерации. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2025. Т. 24. № 11. С. 4621. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2025-4621>
 Apartsin K.A. Creation of a network of fecal microbiota banks in the Russian Federation. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2025, vol. 24, no. 11, p. 4621. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2025-4621> (In Russ.)
53. Ermolenko E., Koroleva I., Suvorov A. Microbial Therapy with Indigenous Bacteria: From Idea to Clinical Evidence. In: Boyko N., Golubnitschaja O. (eds.) *Microbiome in 3P Medicine Strategies. Advances in Predictive, Preventive and Personalised Medicine*. 2023, vol. 16. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19564-8_9
54. Покровская М.С., Борисова А.Л., Яфарова А.А. и др. Биобанк кишечной микробиоты человека: принципы организации и перспективы использования в исследовательских и терапевтических целях. *Доказательная гастроэнтерология*. 2025. Т. 14. № 4. С. 27–38. <https://doi.org/10.17116/dokgastro20251404127>
 Pokrovskaya M.S., Borisova A.L., Yafarova A.A., et al. Biobank of human intestinal microbiota: principles of organization and prospects for use in research and therapeutic purposes. *Evidence-based gastroenterology*. 2025, vol. 14, no. 4, pp. 27–38. <https://doi.org/10.17116/dokgastro20251404127> (In Russ.)
55. Кира Е.Ф., Припутневич Т.В., Муравьёва В.В., Халтурина Ю.В. Трансплантация вагинальной микробиоты. *Акушерство и гинекология*. 2023. № 10. С. 39–46. <https://doi.org/10.18565/aig.2023.142>
 Kira E.F., Priputnevich T.V., Muravyova V.V., Khalturina Yu.V. Transplantation of vaginal microbiota. *Obstetrics and gynecology*. 2023, no. 10, pp. 39–46. <https://doi.org/10.18565/aig.2023.142> (In Russ.)
56. Alkhatib R., Gaede K.I. Data Management in Biobanking: Strategies, Challenges, and Future Directions. *BioTech (Basel)*. 2024, vol. 13, no. 3, p. 34. <https://doi.org/10.3390/biotech13030034>
57. Frascarelli C., Bonizzi G., Musico C.R., et al. Revolutionizing Cancer Research: The Impact of Artificial Intelligence in Digital Biobanking. *Journal of Personalized Medicine*. 2023, vol. 13, no. 9, p. 1390. <https://doi.org/10.3390/jpm13091390>
58. Brancato V., Esposito G., Coppola L., et al. Standardizing digital biobanks: integrating imaging, genomic, and clinical data for precision medicine. *Journal of Translational Medicine*. 2024, vol. 22, no. 1, p. 136. <https://doi.org/10.1186/s12967-024-04891-8>
59. Grossman G.H., Henderson M.K. Readiness for Artificial Intelligence in Biobanking. *Biopreservation and Biobanking*. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 119–120. <https://doi.org/10.1089/bio.2023.29121.editorial>
60. Rush A., Byrne J.A., Watson P.H. Applying Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable Principles to Biospecimens and Biobanks. *Biopreservation and Biobanking*. 2024, vol. 22, no. 6, pp. 550–556. <https://doi.org/10.1089/bio.2023.0110>
61. Scapicchio C., Gabelloni M., Forte S.M., et al. DICOM MIABIS integration model for biobanks: a use case of the EU PRIMAGE project. *European Radiology Experimental*. 2021, vol. 5, no. 20. <https://doi.org/10.1186/s41747-021-00214-4>
62. Сухоруков В.С., Метельская В.А., Крапивкин А.И. Биобанки как инструмент прогресса трансляционной и персонализированной педиатрии. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2025. Т. 70. № 2. С. 5–14. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2025-70-2-5-14>
 Sukhorukov V.S., Metelskaya V.A., Krapivkin A.I. Biobanks as a tool for the progress of translational and personalized pediatrics. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2025, vol. 70, no. 2, pp. 5–14. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2025-70-2-5-14> (In Russ.)
63. Мешков А.Н., Ярцева О.Ю., Борисова А.Л. и др. Концепция национальной информационной платформы биобанков Российской Федерации. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2022. Т. 21. № 11. С. 6–12. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3417>
 Meshkov A.N., Yartseva O.Yu., Borisova A.L., et al. Concept of the national information platform of biobanks of the Russian Federation. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022, vol. 21, no. 11, pp. 6–12. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3417> (In Russ.)

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040047

Оригинальная статья

О НАЦИОНАЛЬНОМ ПРОЕКТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА
“НОВЫЕ АТОМНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ”

С.Н. Калмыков*

Российская академия наук, Москва, Российская Федерация
**E-mail: SNKalmykov@pran.ru*

Аннотация. Рассмотрены задачи и содержание национального проекта технологического лидерства “Новые атомные и энергетические технологии”, цель которого – сделать Россию мировым лидером в атомной сфере, обеспечить её суверенитет в новых энергетических технологиях. В качестве фактора, сдерживающего развитие ядерной энергетики и определяющего стратегию её развития, помимо безопасности ядерных реакторов, названа проблема обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивных отходов, которые образуются на различных стадиях ядерного топливного цикла. Обсуждается стратегия обращения с ОЯТ, а также проблема захоронения радиоактивных отходов.

Ключевые слова: Научно-технический совет Комиссии по научно-технологическому развитию РФ, национальный проект технологического лидерства “Новые атомные и энергетические технологии”, ядерная энергетика, отработавшее ядерное топливо, радиоактивные отходы

Ссылка для цитирования: Калмыков С.Н. О национальном проекте технологического лидерства “Новые атомные и энергетические технологии”. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 332–337. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040047>

Поступила в редакцию 06.03.2026
После доработки 06.03.2026
Принята к публикации 10.03.2026



КАЛМЫКОВ Степан Николаевич – академик РАН, вице-президент РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: SNKalmykov@pran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2396-4561>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040047

Original Article

ON THE NATIONAL TECHNOLOGICAL LEADERSHIP PROJECT
“NEW NUCLEAR AND ENERGY TECHNOLOGIES”

S.N. Kalmykov*

Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**E-mail: SNKalmykov@pran.ru*

Abstract. This article examines the objectives and content of the national technological leadership project “New Nuclear and Energy Technologies”, which aims to make Russia a global leader in the nuclear sector and to ensure its sovereignty in new energy technologies. In addition to the safety of nuclear reactors, the issue of spent nuclear fuel and radioactive waste management, which are generated at various stages of the nuclear fuel cycle, is identified as a factor constraining the development of nuclear energy and determining its development strategy. The SNF management strategy and the issue of radioactive waste disposal are discussed.

Keywords: Scientific and Technical Council of the Commission for Scientific and Technological Development of the Russian Federation, national technological leadership project “New Atomic and Energy Technologies”, nuclear energy, spent nuclear fuel, radioactive waste

For Citation: Kalmykov S.N. On the national technological leadership project “New Nuclear and Energy Technologies”. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 332–337. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040047>

Received March 06, 2026

Revised March 06, 2026

Accepted on March 10, 2026

KALMYKOV Stepan N. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Vice-President of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: SNKalmykov@pran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2396-4561>.

Я хотел бы доложить об экспертизе и мониторинге национальных проектов, которые проводит Научно-технический совет Комиссии по научно-технологическому развитию РФ (НТС КНТР). Для Российской академии наук основная задача — приоритизация направлений, тем и проектов и их отнесение либо к числу проектов технологического лидерства, либо технологического суверенитета. И то и другое очень важно, причём следует учитывать, что есть направления, в которых научно-технологический задел Российской Федерации таков, что мы можем обогнать, вернее, уже обгоняем многие развитые страны.

Здесь речь пойдёт прежде всего о национальном проекте технологического лидерства “Новые атомные и энергетические технологии”. В паспорте этого проекта определена его цель — сделать Россию мировым лидером в атомной сфере, обеспечить её суверенитет в новых энергетических технологиях. Имея в виду его масштабность и важное значение, этот нацпроект формировался непросто, в эту работу были вовлечены три вице-преьера Правительства РФ. В результате были определены пять федеральных проектов, которые относятся к сфере ядерной и термоядерной энергетики. НИЦ “Курчатовский институт” стал головной научной организацией в этой области. Сегодня я буду говорить о первом федеральном проекте, который посвящён новой атомной энергетике, всему, что связано с замыканием ядерного топливного цикла — важнейшим направлением, в котором имеется большое количество технологических и научных развилки. Реализация этого проекта требует использования возможностей академических институтов и университетов, а также экспертизы НТС КНТР и РАН.

Государство высоко оценило важность этих направлений, и в 2023 г. Государственная премия Российской Федерации в области науки и технологий была присуждена М.В. Ковальчуку, президенту НИЦ “Курчатовский институт”, Е.О. Адамову, который возглавляет направление “Прорыв” в Госкорпорации “Росатом”, и В.Г. Асмолову (АО “Концерн Росэнергоатом”) за цикл фундаментальных и прикладных научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, которые внесли выдающийся вклад в разработку научно-технологических основ обоснования и реализацию стратегии двухкомпонентного развития ядерной энергетики в Российской Федерации.

Начну кратко с базовых вещей. Не вдаваясь в историю советского атомного проекта, важно подчеркнуть, что наша атомная энергетика — это детище атомного проекта. Технологии в области добычи полезных ископаемых, химии и материаловедения, ядерной физики и других областях, которые когда-то использовались для создания атомного оружия, послужили основой мирного атома. Первый на Евразийском континенте коммерческий реактор на Обнинской АЭС был запущен в 1950-х годах и проработал до начала 2000-х годов, сейчас он превращён в музей. Атомная энергетика — важнейший по энерговыработке низкоуглеродный источник (около 30%). Среди всех источников энергии на долю АЭС приходится 10–12% мировой выработки

электроэнергии, а в России 16–18% при очень неравномерном распределении по территории страны: если в европейской части это почти 40% генерации, то за Уралом много меньше.

Напомню: несмотря на то, что ядерная энергетика является “чистой” с точки зрения качества воздуха, существует проблема, обусловленная тем, что нейтронно-индуцированное деление тяжёлых ядер приводит к накоплению значительного количества продуктов деления. Фактически из малорадиоактивной субстанции — таблетки диоксида урана (а у 238 изотопа период полураспада составляет 4.5 млрд лет) — мы получаем отработавшее ядерное топливо, которое высоко радиоактивно, образуются нуклиды трети элементов периодической таблицы, большинство из которых радиоактивны с очень разными периодами полураспада. Самое важное, что около 95% исходного урана не расходуется, что, естественно, наводит на мысль о необходимости технологии, которая позволяла бы регенерировать и использовать этот уран.

Фактором, сдерживающим развитие ядерной энергетики и определяющим стратегию её развития, помимо безопасности ядерных реакторов, является проблема обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивных отходов, которые образуются на различных стадиях ядерного топливного цикла. То есть речь идёт о решении научно-технологической задачи замыкания ядерного топливного цикла. Оно базируется в том числе на понятии радиационной эквивалентности: в своё время оно было введено академиком Н.П. Лавёровым, который предложил в качестве критерия долгосрочной безопасности хранилищ радиоактивных отходов использовать их сравнение с месторождениями урана.

Если мы говорим об отработавшем ядерном топливе, то надо представлять его масштабы: в мире это 300 тыс. тонн ОЯТ при объёме переработки около 100 тыс. тонн при ежегодном пополнении накопленного объёма в 10 тыс. тонн. В России накоплено 24 тыс. тонн при ежегодном пополнении в 650 тонн.

На рисунке 1 показано, как фактически меняется радиотоксичность во времени и как она будет меняться, если мы выделим из ОЯТ изотопы плутония, америция и нептуния. В долгоживущей фракции остаются только йод-129 и технеций-99, но их общая радиоактивность с точки зрения радиоэквивалентности позволяет обосновать их долгосрочное безопасное захоронение. Иначе говоря, есть возможность вернуть в энергетику делящиеся изотопы, сократив таким образом время безопасного хранения и захоронения отходов после переработки ОЯТ с сотен тысяч лет до сотен лет. В этом случае ситуация с безопасностью и экономикой ядерного топливного цикла меняется кардинально.

Мы обсуждаем заключительную стадию жизненного цикла топлива. Разные страны выбрали разные стратегии обращения с ОЯТ. Где-то ОЯТ рассматривается как радиоактивные отходы, и с ним не проводят никаких манипуляций. Это приводит к накоплению объёмов ОЯТ, которые необходимо хранить в течение сотен тысяч или даже миллиона лет. Россия идёт по пути мак-

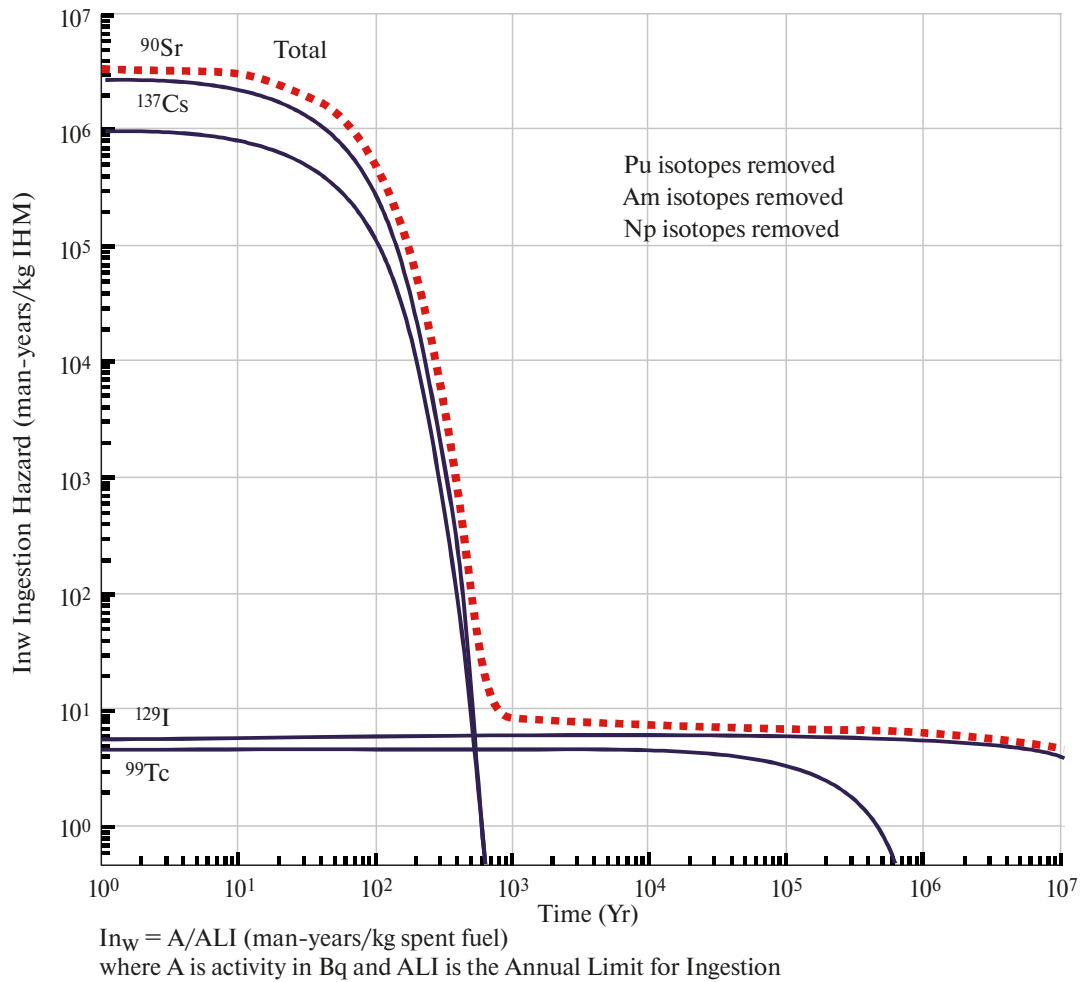


Рис. 1. Изменение радиотоксичности во времени в случае выделения из ОЯТ изотопов плутония, америция и нептуния

Fig. 1. Change in radiotoxicity over time in the case of separation of plutonium, americium and neptunium isotopes from spent nuclear fuel

симального многократного использования делящихся изотопов из ОЯТ. Этот подход позволяет в том числе отчасти решить проблему ядерного наследия со времён реализации советского атомного проекта.

Вот как выглядит роль и место радиохимической переработки ОЯТ в замкнутом ядерном топливном цикле и двухкомпонентной ядерной энергетике. Присутствуют два контура, состоящие из реакторов на тепловых и быстрых нейтронах. Первые вырабатывают дешёвую электроэнергию — это основа современной ядерной энергетике для топлива второго контура — реакторов на быстрых нейтронах. Так решается задача обеспечения реакторов на быстрых нейтронах сырьём и, что важно, вовлечения в энергетику в том числе чётных изотопов урана и плутония. То есть можно использовать и природный, и обеднённый уран, производя смешанное уран-плутониевое топливо. Благодаря этому замыкающая стадия цикла реакторов на тепловых нейтронах становится начальной стадией цикла с реакторами на быстрых нейтронах. Это и есть суть двухкомпонентной ядерной энергетике (рис. 2).

Возвратимся к безопасности захоронения радиоактивных отходов. На рисунке 3 показано примерное соотношение числа захораниваемых высокоактивных отходов первого класса при реализации трёх сценариев: в отсутствии переработки, при переработке, которая реализована сейчас — с частичным замыканием цикла, и переработка отработавшего ядерного топлива с глубоким фракционированием. В последнем случае уменьшение объёмов отходов составляет до 70% и определяется прежде всего цезием-137 и стронцием-90 с периодами полураспада около 30 лет.

Эти подходы изложены в стратегии развития ядерной энергетике России. Значительная часть научных и технологических задач, перечисленных в стратегии, должна быть решена. Фундаментальная цель — достичь 25-процентной доли ядерной энергетике в выработке к 2045 г. Приведён план того, каким образом это будет достигаться в период до 2030 г. (рис. 4). В рамках решения этой задачи в Северске создают опытно-демонстрационный энергокомплекс, реактор “БРЕСТ” с пристанционным циклом. Предполага-

Заключительная стадия жизненного цикла

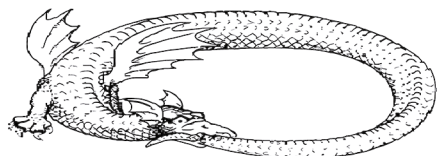
Очень велик



Отбросить?



Замкнуть!

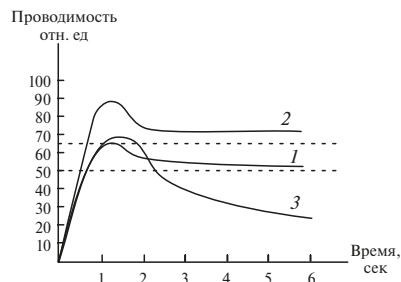


Барышников М.В., АТОМЭКО, Москва, 16.10.2012



Что делать с хвостом?

Сделать так, чтобы хвост не рос



Утилизировать наследие



Вот, собственно, зачем мы создаём ту самую систему обращения с ОЯТ

Рис. 2. Заклучительная стадия жизненного цикла ОЯТ
 Fig. 2. The final stage of the spent nuclear fuel life cycle

ется, что экономия будет достигаться за счёт отсутствия необходимости перевозить ОЯТ. Однако здесь возникает технологический вызов – придётся иметь дело с ОЯТ с коротким временем выдержки, то есть со значительно более радиоактивным. По содержанию оно будет отличаться от ОЯТ тепловых реакторов бóльшим содержанием альфа-излучающих радиону-

клидов. Технологический вызов заключается в том, что большинство гидрометаллургических технологий, которые используются сейчас для ОЯТ тепловых реакторов, окажутся непригодными из-за радиационных нагрузок.

Таким образом, мы имеем значительное число научно-технологических альтернатив. В качестве

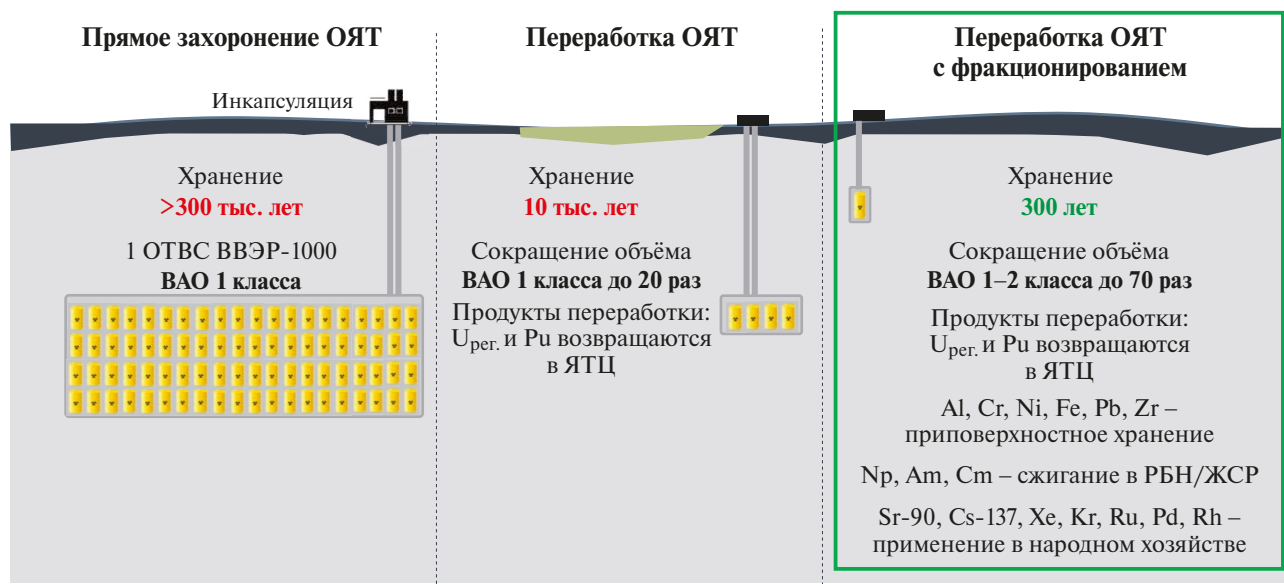


Рис. 3. Сокращение объёмов высокоактивных отходов для окончательного захоронения, сценарии
 Fig. 3. Reduction of high-level waste volumes for final disposal, scenarios



Рис. 4. Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года
Fig. 4. Strategy for the development of nuclear energy in Russia until 2050 and prospects for the period up to 2100

примера можно привести обращение с минорными актинидами. После растворения ОЯТ и извлечения урана и плутония, необходимо выделить минорные актиниды, дальнейшее использование которых различается: кюрий распадётся в плутоний, америций можно использовать в составе нового топлива, а вот такие продукты деления, как редкоземельные элементы, могут быть захоронены. Для решения этой задачи исследовали применение различных экстрагентов, таких как классический трибутилфосфат, который уже десятилетиями применяется для переработки ОЯТ, или другие фосфорорганические экстрагенты, производные фенантролиндикарбоновых кислот, которые показали очень высокую эффективность. Что касается использования трибутилфосфата – это перспективный подход, потому что в этом случае можно осуществлять глубокое фракционирование, не меняя экстрагент, а лишь незначительно варьируя условия выделения, и получать фракции основных продуктов деления, редкоземельных элементов, америция, технеция, циркония, нептуния, плутония, урана.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова совместно с РАН предложил экстракционную схему с использованием молекулы PhenCN, которая обладает рекордными характеристиками по селективности разделения америция и кюрия. Это позволяет миниатюризировать установки по разделению америция, кюрия и редкоземельных элементов, из которых наиболее критичными являются самарий, европий и гадолиний (которые являются нейтронными ядами). Ещё одно возможное технологическое решение – использование сорбционных технологий.

С помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии уже получено 65 граммов чистого Am-241, 243, причём эта технология может быть масштабирована для больших количеств.

Ещё одна технологическая развилка – судьба минорных актинидов. Задача состоит в том, чтобы понять, каким образом их утилизировать – подмешивать в топливо для реакторов на быстрых нейтронах или дожигать в жидкосолевоом реакторе. По первому сценарию эксперименты уже идут в ГНЦ НИИАР, где облучается экспериментальное топливо с большим содержанием америция. Жидкосолевоый реактор фактически является инновацией, реактором-мусорщиком, который позволит сжигать минорные актиниды. Среди фундаментальных задач на будущее можно назвать создание ториевого ядерного топливного цикла, у которого большие перспективы.

Что касается ситуации в других странах. Китай запустил быстрый реактор и идёт точно по такому же пути, как и “Росатом”, с незначительным отставанием, но планы у них амбициозные и много денег. У нас есть риск утратить технологическое преимущество. Во Франции работали два быстрых реактора, однако технологически они были несовершенные и их закрыли. Сейчас в Бельгии строится промышленный быстрый реактор. В Соединённых Штатах Америки компания TerraPower финансирует строительство быстрого реактора. И это далеко уже не только наука. То есть нас догоняют крупнейшие страны – Индия, Китай, США и Франция. Единственный, кто выбыл из этой гонки – Великобритания, которая сворачивает атомную энергетику.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040055

Оригинальная статья

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА АРЕАЛ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В.М. Лукомец*, Л.А. Беспалова

ФГБНУ “Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко”,
Краснодар, Российская Федерация
*E-mail: kniish@kniish.ru

Аннотация. В статье представлен анализ влияния изменения климата в Российской Федерации на ареал возделывания основных сельскохозяйственных культур — озимой пшеницы, кукурузы, подсолнечника, сои. Предложены рекомендации по разработке селекционных программ, направленных на адаптацию к климатическим изменениям, а также подходы к технологиям возделывания сельскохозяйственных культур в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: климат, адаптация, пшеница, кукуруза, подсолнечник, соя, технологии

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания № 082-03-2026-172/1 — ФГБНУ “НЦЗ им. П.П. Лукьяненко”.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку статьи.

Ссылка для цитирования: Лукомец В.М., Беспалова Л.А. Влияние изменения климата на ареал возделывания основных сельскохозяйственных культур в Российской Федерации. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 338–345. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040055>

Поступила в редакцию 25.02.2026
После доработки 25.02.2026
Принята к публикации 05.03.2026



ЛУКОМЕЦ Вячеслав Михайлович — академик РАН, директор НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, Краснодар, Российская Федерация, e-mail: vniimk@vniimk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9162-0317>.
БЕСПАЛОВА Людмила Андреевна — академик РАН, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, Краснодар, Российская Федерация, e-mail: bespalova_l_a@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0245-7835>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040055

Original article

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE CULTIVATION AREAS
OF MAJOR AGRICULTURAL CROPS IN THE RUSSIAN FEDERATION

V.M. Lukomets*, L.A. Bespalova

P.P. Lukyanenko National Grain Center, Krasnodar, Russian Federation

**E-mail: kniish@kniish.ru*

Abstract. This article presents an analysis of the impact of climate change in the Russian Federation on the cultivation areas of key agricultural crops—winter wheat, corn, sunflower, and soybeans. Recommendations are provided for the development of breeding programs aimed at adapting to climate change, as well as approaches to crop cultivation technologies in a changing climate.

Keywords: climate, adaptation, wheat, corn, sunflower, soybeans, technologies

Funding. The research was carried out within the framework of state assignment No. 082-03-2026-172/1 – FGSBI P.P. Lukyanenko National Grain Center.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Author Contributions. The authors contributed equally to the preparation of this article.

For Citation: Lukomets V.M., Bespalova L.A. The impact of climate change on the cultivation areas of major agricultural crops in the Russian Federation. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 338–345. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040055>

Received February 25, 2026
Revised February 25, 2026
Accepted March 05, 2026

LUKOMETS Vyacheslav M. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the P.P. Lukyanenko National Center of Plant Health, Krasnodar, Russian Federation, e-mail: vniimk@vniimk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9162-0317>. BESPALOVA Lyudmila A. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Department of Breeding and Seed Production of Wheat and Triticale, P.P. Lukyanenko National Center of Plant Health, Krasnodar, Russian Federation, e-mail: bespalova_l_a@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0245-7835>.

В Российской Федерации изменение климата происходит быстрее, чем в среднем в мире, и негативно влияет на сельское хозяйство, вызывая засухи, наводнения, повышение температуры и распространение вредителей [1]. Это приводит к снижению урожайности, повреждению посевов и экономическим потерям [2]. Однако в некоторых регионах возможно расширение ареалов выращивания сельхозкультур и увеличение периода их активного роста [3]. Наблюдается устойчивое потепление, начавшееся в 1970-х годах на всей территории страны и во все сезоны, скорость роста среднегодовой температуры достигает 0.5°C , что в 2.5 раза превышает среднемировые темпы [1]. В то же время известно, что повышение средней температуры на 1°C приводит к снижению средней урожайности возделываемых культур на 5–15% [4]. Динамика среднегодовых температур за последние 20–30 лет представлена на рисунке 1 [1].

Основные регионы производства сельскохозяйственной продукции в нашей стране – Южный, Центральный и Приволжский федеральные округа [5]. Климатические изменения на этих территориях можно проследить на примере Краснодарского края: тенденции, характерные для этого региона, постепенно охватывают и северные области [6]. Совершенствование сельскохозяйственных технологий в условиях изменяющегося климата наряду с использованием новых сортов и гибридов зерновых и масличных культур позволит выращивать их в тех регионах, где прежде они не возделывались [7].

Что касается осадков, то по многолетним наблюдениям их количество остаётся примерно на одном уровне, и лишь последние 2–3 года в Краснодарском крае были резко засушливыми [8]. Однако усилилась пиковость осадков: наибольшее их количество теперь приходится на осенне-зимний период, а в летний период они выпадают всё реже (рис. 2, 3). Очень жаркими стали июль-август, что отрицательно сказывается на производстве яровых культур.

На успешное ведение сельскохозяйственного производства значительно влияют климатические факторы: увеличение размаха амплитуды проявления лимитирующих факторов среды (температуры и осадков), нарастание числа лет с частыми и продолжительными оттепелями с возобновлением вегетации озимых в зимний период, проявление криогенных нагрузок в период активной вегетации растений (возвратные заморозки), существенное повышение среднемесячных температур в период посева озимых, удлинение периодов с острым дефицитом влаги, повышение температур в летний период [8]. Все эти климатические изменения требуют корректировки ведения сельскохозяйственного производства. Человек не может повлиять на природные факторы, а значит, следует адаптироваться к новой экологической ситуации [9].

В России в период с 2010 по 2024 г. в сельскохозяйственном производстве произошли значительные изменения. Практически в 2 раза увеличено производство зерна [5]. Климат меняется, возникают новые риски, но показатели в аграрном секторе растут, сельское хозяйство развивается, находя ответы на климатические вызовы. Это достигается благодаря интенсивной селекционной работе и новым технологиям агропроизводства. Если раньше лидером по объёмам производства пшеницы был Южный федеральный округ, то теперь он уже далеко не на первом месте. Благодаря увеличению урожайности растут объёмы производства сельхозпродукции в Центральном и Приволжском федеральных округах (рис. 4). Аграрии этих регионов отреагировали на климатические изменения, которые дают им новые возможности, применили новые сорта и технологии.

Удивительно, но ещё 100 лет назад в Поволжье озимая пшеница занимала только 1% посевов, остальное приходилось на яровую пшеницу. В настоящее время в этом регионе озимая пшеница занимает 70% площадей, а яровая – 30%. Раньше на Кубани озимую пшеницу

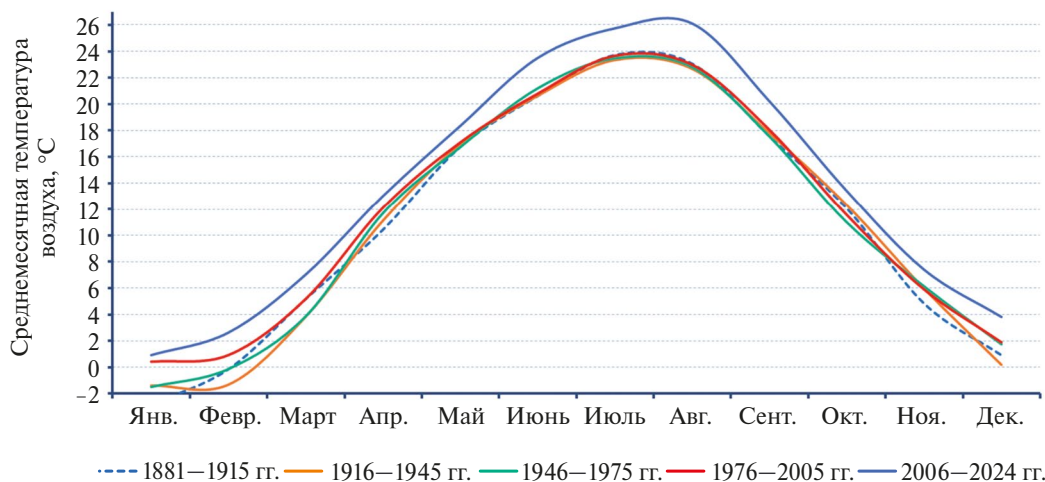


Рис. 1. Изменение среднегодовых температур за 30-летние периоды, г. Краснодар, 1881–1915 гг., Екатеринбургская метеостанция, 1916–2024 гг.

Fig. 1. Change in average annual temperatures over 30-year periods, Krasnodar, 1881–1915, Yekaterinodar meteorological station, 1916–2024



Рис. 2. Динамика среднегодовых сумм осадков, г. Краснодар
Fig. 2. Dynamics of average annual precipitation, Krasnodar

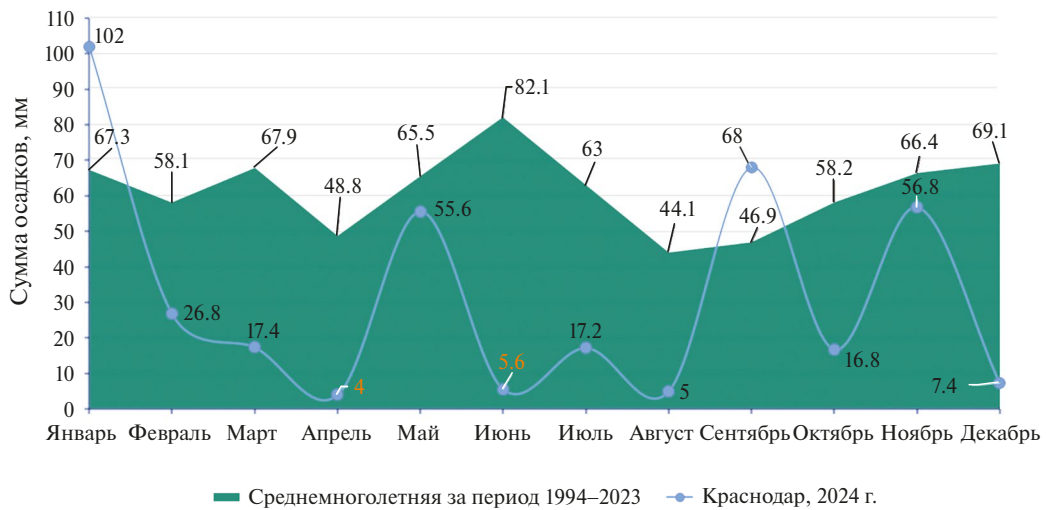


Рис. 3. Суммы осадков по месяцам, г. Краснодар, 2024 г.
Fig. 3. Precipitation amounts by month, Krasnodar, 2024



Рис. 4. Изменение доли федеральных округов в валовом производстве пшеницы (озимой и яровой) в РФ, 2010–2024 гг.
Fig. 4. Change in the share of federal districts in gross wheat production (winter and spring) in the Russian Federation, 2010–2024

сеяли только в районе Екатеринодара, поскольку на севере края озимые вымерзали. Повышение среднегодовых температур и потепление климата позволило широко возделывать озимую пшеницу в Центральном Черноземье, Поволжье, на Северном Кавказе, в Нечернозёмной зоне. Российские селекционеры улучшают такие её свойства, как адаптивность, продуктивность, морозостойкость. Сорты озимой пшеницы, созданные селекционерами ФГБНУ “НЦЗ им. П.П. Лукьяненко”, занимают 51.5% всех посевных площадей под этой культурой. Каждый год создаётся 10–15 новых сортов с высокими показателями урожайности, морозостойкости, устойчивости к различным патогенам [7].

Мозаика сортов является одной из технологий, направленной на адаптацию к климатическим изменениям. Очень важно, что селекционеры смогли создать мозаику сортов, так как при интенсивном ведении сельского хозяйства слишком много природных факторов влияют на урожайность. Мозаика сортов (рис. 5) позволяет нивелировать потери урожая от неблагоприятных факторов и обеспечивает возможность сорту реализовать свой потенциал в тех или иных условиях. Большое разнообразие климатических условий и технологий производства значительно повлияло на переход от моносортия к интенсивным сортам разного типа.

Колоссальные изменения затронули выращивание кукурузы. За 10 лет в стране в 4 раза увеличены объёмы производства кукурузного зерна – до 15 млн т. В Центральном федеральном округе кукурузу раньше возделывали практически единичные хозяйства. В настоящее время эта культура шагнула далеко на север, и ЦФО стал основным районом её производства (рис. 6). Расширению ареала способствовало создание ультраскороспелых холодостойких гибридов [3].

На фоне изменения климата в России продолжается продвижение подсолнечника в новые регионы и усовершенствование сортов, адаптированных к более холодным условиям и нестабильной погоде. Селекцио-

неры создают гибриды с ранним сроком созревания, высокой урожайностью и устойчивостью к болезням. Подсолнечник активно продвигается на север, в регионы с более прохладным климатом (например, в Курганскую область). Это стало возможным благодаря созданию скороспелых гибридов, устойчивых к болезням, пониженным температурам, выдерживающих засуху и другие неблагоприятные условия. Лидер по посевным площадям подсолнечника в нашей стране – Приволжский федеральный округ. Однако здесь необходимо сбалансировать севооборот с целью недопущения нарушений научно обоснованных рекомендаций.

За последние 14 лет в России в 6 раз увеличено производство сои. Посевные площади достигли 4.5 млн га, а валовые сборы – 7 млн т. Изменение климата способствует расширению площадей под соей в некоторых регионах (Сибирь и Дальний Восток), где её выращивание становится рентабельным. Потепление позволяет осваивать новые территории, которые раньше были непригодны для выращивания этой культуры, особенно на востоке России, где зафиксирован рекордный рост посевных площадей. По данным аналитического центра RUSSED, лидерами по объёмам производства сои являются Дальневосточный (Амурская область) и Центральный федеральные округа. Значительный рост посевных площадей под этой культурой отмечен в Алтайском крае и Пензенской области. В Южном федеральном округе из-за высоких температур и участившихся засух, напротив, намечилось некоторое снижение этого показателя.

Для преодоления негативных последствий изменения климата и использования положительных тенденций необходимо реализовывать селекционные программы, которые направлены на адаптацию к климатическим изменениям. Речь идёт о селекции сортов и гибридов:

- на засухоустойчивость;
- на высокую выносливость к длительному переувлажнению и подтоплению почвы;

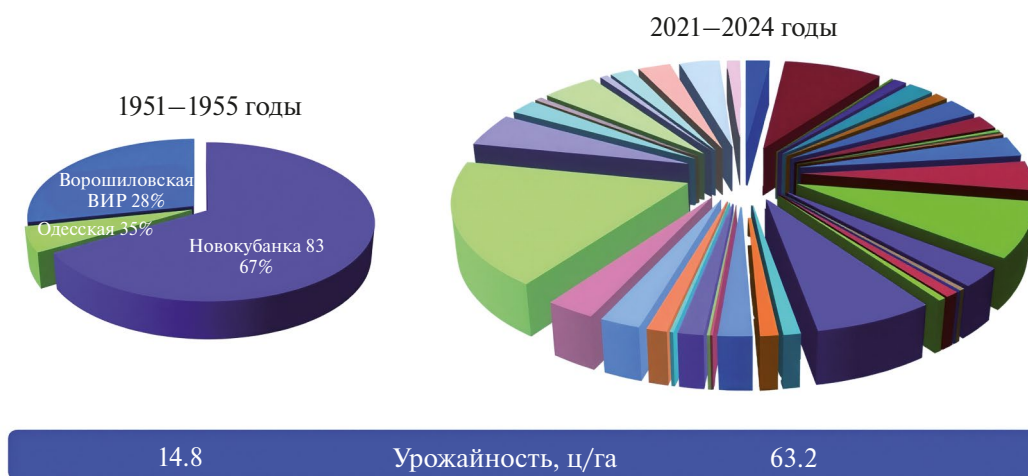


Рис. 5. Мозаика сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ “НЦЗ им. П.П. Лукьяненко” и изменение урожайности культуры в Краснодарском крае

Fig. 5. Mosaic of winter wheat varieties bred by the P.P. Lukyanenko Scientific Center for Plant Genetics and changes in crop yield in Krasnodar Krai



Рис. 6. Изменение доли федеральных округов в валовом производстве кукурузы в РФ, 2010–2024 гг.
Fig. 6. Change in the share of federal districts in gross corn production in the Russian Federation, 2010–2024

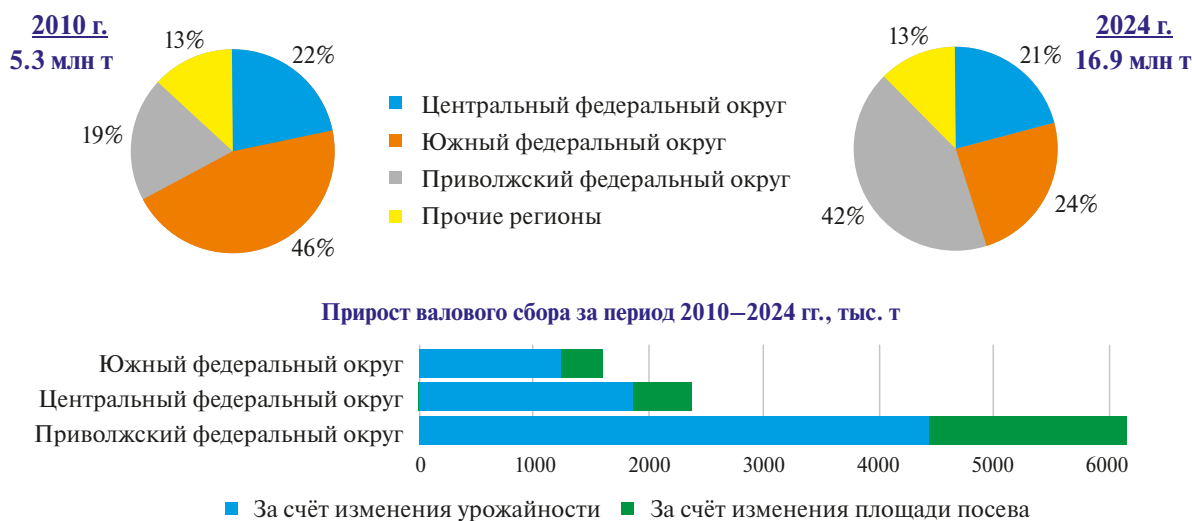


Рис. 7. Изменение доли федеральных округов в валовом производстве подсолнечника в РФ, 2010–2024 гг.
Fig. 7. Change in the share of federal districts in gross sunflower production in the Russian Federation, 2010–2024

Таблица 1. Посевные площади подсолнечника по федеральным округам, 2024 г.

Table 1. Sunflower sown areas by federal districts, 2024

№ п/п	Федеральный округ	Площадь посева, га
1	Приволжский	4428300
2	Южный	2343100
3	Центральный	1486200
4	Северо-Кавказский	302400
5	Сибирский	950000
6	Уральский	170500
7	Дальневосточный	9800



Рис. 8. Изменение доли федеральных округов в валовом производстве сои в РФ, 2010–2024 гг.

Fig. 8. Change in the share of federal districts in gross soybean production in the Russian Federation, 2010–2024

- на глубокую корневую систему, обеспечивающую забор воды с глубины 2–3 метров;
- на устойчивость к болезням и вредителям;
- на повышенную сосущую силу корней, что позволяет растениям в условиях засух использовать недоступные для обычных сортов насыщенные почвенные растворы;
- зимующих сортов льна, гороха, горчицы, выдерживающих длительные зимние температуры (до минус 20–23°C);
- раннеспелых высокоурожайных сортов, созревающих до пиков позднелетних засух;
- на повышение зимо- и морозоустойчивости;
- на видоизменение архитектоники линий и гибридов кукурузы (эриктоидное расположение листьев).

Современные технологии играют ключевую роль в создании сортов, устойчивых к изменению климата. Такие методы, как геномная селекция, редактирование генома, маркер-ассоциированная селекция MASS, обеспечивают значительные преимущества. В то же время не утратили своего потенциала и традиционные методы — гибридизация, возвратные скрещивания и селекция на локальную адаптацию. Невозможно раскрыть генетический потенциал новых сортов без использования перспективных технологий. Изменения в урожайности и валовых сборах сельскохозяйственных культур происходят за счёт технологического перевооружения сельского хозяйства [10]. Это не только наращивание лошадиных сил на гектар пашни, что, бесспорно, является одним из ключевых моментов, но и подходы к внедрению новых технологий. Если раньше наряду с экстенсивными применялись интенсивные и высокие технологии, то сейчас практически все агротехнологии интенсивные и всё шире использу-

ются высокие технологии, в том числе искусственный интеллект, точное внесение химических элементов, удобрений и т.д. Повсеместно внедряются передовые технологии обработки почвы, которые позволяют собирать высокий урожай: ноу тилл (нулевая обработка почвы) в засушливых регионах, классическая пахота на территориях с повышенной влагообеспеченностью, комбинационные системы. Создаётся соответствующая техника, решаются технологические вопросы.

Таким образом, в условиях климатических трансформаций необходимо менять подходы к возделыванию сельскохозяйственных культур:

- использовать мозаику сортов;
- целенаправленно и адресно подбирать сорта;
- ускорять сортосмену;
- практиковать мультисортное семеноводство и семеноводство на орошении;
- оптимизировать нормы высева и доз минеральных удобрений и сроки посева.

Важный момент — сроки сева. В условиях Краснодарского края, например, сроки сева озимой пшеницы перенесены на 2–3 недели — на более поздний период, когда, казалось бы, трудно получить равномерные всходы. Сею позже, но при этом раньше начинаем весенние подкормки, чтобы весной сформировать хорошую биомассу. Это один из подходов в изменяющихся условиях среды.

Адаптационные меры, такие как использование более устойчивых к климату сортов, внедрение точного земледелия и эффективное управление водными ресурсами, позволяют смягчить негативные последствия изменения климата и даже создать новые возможности для сельского хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год*. М.: Росгидромет, 2025. ISBN 978-5-906099-58-7
Report on climate features in the Russian Federation for 2024. Moscow: Roshydromet, 2025. ISBN: 978-5-906099-58-7 (In Russ.)
2. Яшалова Н.Н., Рубан Д.А. Долговременные риски российского растениеводства в условиях глобальных изменений климата в контексте продовольственной безопасности. *Региональная экономика: теория и практика*. 2018. Т. 16. № 6(453). С. 1127–1140. <https://doi.org/10.24891/re.16.6.1127>
Yashalova N.N., Ruban D.A. Long-term Risks to Russian Crop Production under Global Climate Change in the Context of Food Security. *Regional Economy: Theory and Practice*. 2018, vol. 16, no. 6 (453), pp. 1127–1140. <https://doi.org/10.24891/re.16.6.1127> (In Russ.)
3. Идрисов Р.М. Влияние глобального потепления на агропромышленный комплекс. *Продовольственная политика и безопасность*. 2023. Т. 10. № 3. С. 423–436. <https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.118467>
Idrisov R.M. The Impact of Global Warming on the Agro-Industrial Complex. *Food Policy and Security*. 2023, vol. 10, no. 3, pp. 423–436. <https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.118467> (In Russ.)
4. Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Прокопьев Е.А. Влияние изменения климата на сельское хозяйство российских регионов. *Регионология*. 2015. № 2(91). С. 56–63.
Druzhinin P.V., Shkiperova G.T., Prokopyev E.A. The Impact of Climate Change on Agriculture in Russian Regions. *Regionology*. 2015, no. 2(91), pp. 56–63. (In Russ.)
5. Шарко Е.Р. Влияния изменений климата на сельское хозяйство в регионах Российской Федерации. *Теоретическая и прикладная экономика*. 2022. № 1. С. 11–24. <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2022.1.35866>
Sharko E.R. The Impact of Climate Change on Agriculture in the Regions of the Russian Federation. *Theoretical and Applied Economics*. 2022, no. 1, pp. 11–24. <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2022.1.35866> (In Russ.)
6. Шувалов А. О зависимости аграриев от климата. *Коммерсант*. 2025. 03 октября (№ 182). С. 10.
Shuvalov A. On Farmers' Dependence on Climate. *Kommersant*. 2025, October 3, no. 182, p. 10. (In Russ.)
7. Снакин В.В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность. *Жизнь Земли*. 2019. Т. 41. № 2. С. 148–164.
Snakin V.V. Global climate change: forecasts and reality. *Life of the Earth*. 2019, vol. 41, no. 2, pp. 148–164. (In Russ.)
8. *Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы* : коллективная монография / А.А. Романенко, Л.А. Беспалова, И.Н. Кудряшов, И.Б. Аблова; Российская академия сельскохозяйственных наук, Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко. Краснодар: ЭДВИ, 2005. ISBN: 5-901957-19-9
New varietal policy and varietal agricultural technology for winter wheat: collective monograph / A.A. Romanenko, L.A. Bepalova, I.N. Kudryashov, I.B. Ablova; Russian Academy of Agricultural Sciences, Krasnodar Research Institute of Agriculture named after P.P. Lukyanenko. Krasnodar: EDVI, 2005. ISBN: 5-901957-19-9 (In Russ.)
9. Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. Глобальное изменение климата и его последствия. *Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова*. 2018. № 2(98). С. 84–93.
Bondarenko L.V., Maslova O.V., Belkina A.V., Sukhareva K.V. Global climate change and its consequences. *Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2018, no. 2(98), pp. 84–93. (In Russ.)
10. Степанян В.Х. Влияние глобального потепления на продовольственную безопасность России. *Экономическая безопасность*. 2022. Т. 5. № 4. С. 1489–1498. <https://doi.org/10.18334/ecsec.5.4.115060>
Stepanyan V.Kh. The Impact of Global Warming on Food Security in Russia. *Economic Security*. 2022, vol. 5, no. 4, pp. 1489–1498. <https://doi.org/10.18334/ecsec.5.4.115060> (In Russ.)

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040064

Оригинальная статья

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ
КАК ОСНОВА НАЦИОНАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Б.Н. Порфирьев^{1,*}, А.А. Широ́в¹, Е.Б. Ленчук²

¹Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Российская Федерация

²Институт экономики РАН, Москва, Российская Федерация

*E-mail: b_porfiriev@mail.ru

Аннотация. Обоснована тенденция усиления взаимосвязи и интенсивности взаимодействия науки и экономики, обусловленная определяющим вкладом НТП в увеличение производительности, модернизацию технической базы и структуры хозяйства, качественные изменения в характере труда, а также снижение рисков для окружающей социальной и природной среды. Подчёркнута первостепенная важность для повышения качества экономического роста и укрепления технологического суверенитета гражданского сектора НИОКР, финансирование которого значительно отстаёт от потребностей и имеет тенденцию к снижению (как и численность занятых). При действующих жёстких бюджетных ограничениях необходим выбор небольшого числа приоритетов направлений НТП, что требует развитых механизмов прогнозирования. Обоснована эффективность синтеза поисковой и нормативной модели прогнозирования и комплексного подхода как базовой методологии научно-технологического прогнозирования.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие, исследования и разработки, научно-технологическое развитие, научно-технологический прогноз, затраты, эффективность

Финансирование. Статья подготовлена без дополнительного финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность своим коллегам А.Р. Бахтизину, члену-корреспонденту РАН, директору ЦЭМИ РАН; Д.Р. Белоусову, кандидату экономических наук, зав. лабораторией ИНП РАН; М.Ю. Головнину, члену-корреспонденту РАН, директору ИЭ РАН; А.Н. Клепачу, кандидату экономических наук, главному экономисту ВЭБ.РФ за материалы и предложения, использованные в докладе на Научной сессии ОС членов РАН.

Ссылка для цитирования: Порфирьев Б.Н., Широ́в А.А., Ленчук Е.Б. Научно-технологический прогноз как основа национальной стратегии социально-экономического развития. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 346–356. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040064>

Поступила в редакцию 15.02.2026

После доработки 15.02.2026

Принята к публикации 25.02.2026

ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич – академик РАН, научный руководитель ИНП РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: b_porfiriev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257>. ШИРОВ Александр Александрович – член-корреспондент РАН, директор ИНП РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: schirov-mse@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777>. ЛЕНЧУК Елена Борисовна – доктор экономических наук, руководитель научного направления ИЭ РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: lenalenchuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8639-0833>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040064

Original Article

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL FORECAST AS THE BASIS
OF THE NATIONAL SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT STRATEGY

B.N. Porfiriev^{1,*}, A.A. Shirov¹, E.B. Lenchuk²

¹*Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*Institute of Economics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

*E-mail: b_porfiriev@mail.ru

Abstract. The article substantiates the trend toward increased interconnection and interaction between science and economics, driven by the decisive contribution of scientific and technological progress to increased productivity, modernization of the technical base and economic structure, qualitative changes in the nature of labor, and the mitigation of risks to the social and natural environment. The article emphasizes the paramount importance of civilian R&D for improving the quality of economic growth and strengthening the technological sovereignty of the sector, whose funding significantly lags behind needs and is declining (as is the number of employees). Given the current strict budget constraints, it is necessary to select a small number of priorities for scientific and technological progress, which requires developed forecasting mechanisms. The article substantiates the effectiveness of synthesizing exploratory and normative forecasting models and an integrated approach as a basic methodology for scientific and technological forecasting.

Keywords: socioeconomic development, research and development, scientific and technological development, scientific and technological forecasting, costs, efficiency

Funding. The article written without additional funding.

Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments. The authors express sincere gratitude to their colleagues A.R. Bakhtizin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences and Director of the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences; D.R. Belousov, Candidate of Sciences (Econ.), Head of a Laboratory at the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences; M.Yu. Golovnin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences and Director of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences; A.N. Klepach, Candidate of Sciences (Econ.), Chief Economist of VEB.RF for the materials and suggestions used in their report at the Scientific Session of the General Meeting of the Members of the Russian Academy of Sciences.

For Citation: Porfiriev B.N., Shirov A.A., Lenchuk E.B. Scientific and technological forecast as the basis of the national socio-economic development strategy. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 346–356. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040064>

Received February 15, 2026

Revised February 15, 2026

Accepted February 25, 2026

PORFIRIEV Boris N. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: b_porfiriev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257>. SHIROV Aleksandr A. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: schirov-mse@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777>. LENCHUK Elena B. – Doctor of Sciences (Econ.), Head of Research at the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: lenalenchuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8639-0833>.

В современном мире развитие науки и техники и социально-экономическое развитие не просто идут рука об руку – они органически взаимосвязаны, более того взаимозависимы. В рамках системы национальных целей, высшим уровнем и интегральным выражением которых выступает *обеспечение национальной безопасности и устойчивого общественного развития*, формируемые государством стратегия и иерархия целей социально-экономического развития определяют приоритетные направления научно-технологического прогресса, включая их кадровую и финансовую поддержку. То же происходит и на корпоративном уровне: устанавливаемые топ-менеджментом стратегические цели предопределяют поиск наиболее перспективных и эффективных решений в сфере исследований и разработок (НИОКР) для борьбы с конкурентами.

Без научно-технологического прогресса невозможен рост современной экономики, не говоря уже об обеспечении национальной безопасности. Ещё классики, от Ф. Бэкона до К. Маркса, писали о роли науки как о непосредственной производительной силе, причём Маркс особо подчёркивал её материализацию в технике и средствах производства. В послевоенные годы вклад научно-технологического фактора в развитие экономики многократно увеличился, а к началу XXI в. стал определяющим. Сегодня доля высокотехнологичного и наукоёмкого сектора в ведущих экономиках мира (если исключить финансовый сектор) составляет порядка 35%. Это уже не остаточный фактор экономического роста, как его в своё время характеризовал нобелевский лауреат Р. Солоу [1], а основной драйвер развития. В российской экономике с начала 2000-х годов доля высокотехнологичных и наукоёмких отраслей почти удвоилась – примерно с 12 до 22%. Это важный структурный сдвиг как в количественном, так и в качественном измерении. Вместе с тем достигнутый уровень по-прежнему существенно отстаёт от показателей ведущих экономик мира.

Но дело не только в определяющей роли научно-технологического фактора как катализатора экономического роста благодаря вкладу НТП в увеличение производительности. Не меньшее – а на самом деле намного большее – значение имеет ключевое его влияние на модернизацию технического базиса и структуры выпуска, качественные изменения в характере труда, включая его безопасность, а также безопасность производства в целом, в том числе на снижение рисков для окружающей социальной и природной среды. В глобальном плане речь идёт о преодолении энергетического, продовольственного и экологического кризисов [2, с. 24; 3, с. 21–25].

УСИЛЕНИЕ И УГЛУБЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ РАЗВИТИЯ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ЭКОНОМИКИ

Сегодня тесная взаимосвязь научно-технологического и социально-экономического развития, в том числе в России, ощущается как никогда прежде. Потенциал экономического роста за счёт вовлечения новых массовых ресурсов во многом исчерпан, причём не столько из-за ограниченности запасов, сколько,

причём в решающей мере, из-за огромной сложности и капиталоемкости их освоения в трудных геологических и климатических условиях. Единственный путь решения этой задачи – через технологическое развитие, в первую очередь на собственной научной, финансовой, кадровой и промышленной базе (по крайней мере в критически важных видах экономической деятельности). Научно-технологический фактор лежит в основе экономического суверенитета и экономического лидерства в современном мире, являясь ключевым условием долгосрочного роста.

Для достижения темпов развития, превышающих среднемировые, особое значение приобретает использование *технологической ренты*, то есть тех преимуществ, которые формируются благодаря внедрению новых технологий и их материализации в новые продукты и услуги. Это обеспечивает соответствующий рост производства. Получаемые доходы – как государственные, так и частные – должны в значительной степени реинвестироваться в НИОКР, формируя замкнутый воспроизводственный контур.

В рамках такого контура наука обеспечивает прежде всего *качество экономического роста*. Масштабирование научно-технологических результатов через экономику – путём тиражирования соответствующих решений – формирует дополнительные доходы государства и бизнеса, которые агрегированы в макроэкономическом показателе валового внутреннего продукта (ВВП). Именно эти доходы должны служить источником финансирования (точнее реинвестирования) в НИОКР, включая фундаментальные исследования, в технологии, преобразующие реальный и социальный секторы экономики, обеспечивая качество экономического роста, формируя и поддерживая таким образом устойчивость и непрерывность цикла научно-технологического и экономического развития (рис. 1).

Основной экономический импульс в странах-лидерах формируется за счёт НИОКР гражданского сектора. При всей огромной значимости разработок, выполняемых в оборонно-промышленном комплексе, именно гражданские новации обеспечивают качественное улучшение структуры роста и широкую диффузию технологий. В то же время очевидно и обратное влияние: без устойчивого роста экономики не будет устойчивого роста финансирования науки и внедрения технологий. Как образно отмечал академик В.В. Ивантер, “инноваций без инвестиций не бывает, а в стоячую экономику никто не будет вкладывать. Поэтому чем быстрее экономика развивается, тем она более инновационна” [4].

ФИНАНСИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В МИРЕ И В РОССИИ: РАСХОДЯЩИЕСЯ ТРАЕКТОРИИ

По данным Всемирного банка, в последние десятилетия совокупные затраты на НИОКР в среднем составляли около 2% мирового ВВП. Начиная примерно с 2012–2013 гг. наблюдается их заметное увеличение; в настоящее время это уже порядка 2.5% ВВП (рис. 2). При этом важная особенность последних лет – сниже-



Рис. 1. Воспроизводственный контур “Наука–экономика”
Fig. 1. The reproduction loop “Science-Economy”

ние отдачи от НИОКР с точки зрения прироста подушевого ВВП, в частности производительности труда: вклад новых разработок в динамику экономического роста оказывается ниже, чем в периоды смены предыдущих технологических укладов. Этот феномен пока не имеет однозначного объяснения. Обсуждаются разные гипотезы, связанные с изменением механизмов диффузии технологий, спецификой современного технологической многоукладности, включая формирование в ведущих экономиках мира шестого технологического уклада с доминированием цифровых технологий, платформенных решений и новых форм организации производства (экосистем), и трансформацией экономического мультипликатора¹. Как бы то ни было, тенденция повышения затрат на НИОКР сохраняется, и можно предположить, что увеличение инвестиций в НИОКР за последние 10 лет – это попытка компенсировать снижающуюся отдачу и поддержать мировую экономическую динамику.

А как обстоят дела в России? Если обратиться к так называемым полным затратам на исследования и разработки, включающим как внутренние затраты на НИОКР, так и расходы на импорт технологий (прежде всего в форме высокотехнологичной продукции), то совокупный показатель выглядит внешне относительно благополучно – около 2% ВВП, что близко к общемировому уровню. Однако примерно половина этого объёма связана именно с импортируемыми технологическими решениями, тогда как собственные (внутренние) затраты на НИОКР уже длительное время составляют порядка 1% ВВП, а в последние годы имеют тенденцию к снижению. Это тревожный, более того, сравнительно редкий феномен в современной мировой экономике. По абсолютной величине расходов на НИОКР по паритету покупательной способности Россия также ослабила свои позиции, перейдя в группу стран с уровнем расходов в этой сфе-

ре более 50 млрд долл. (Франция, Италия, Тайвань и Индия), что на порядок меньше, чем у мировых лидеров США и Китая (700–800 млрд долл.).

Таким образом, в настоящее время наблюдается противоречивая ситуация. С одной стороны, в документах стратегического планирования и ключевых выступлениях руководства страны, в том числе по вопросам национальных проектов, научно-технологическое развитие стабильно входит в ведущую тройку национальных приоритетов (после обороны и социальной политики). С другой стороны, значимость научно-технологического развития далеко не в полной мере подкрепляется финансово. Так, расходы на реализацию девяти национальных проектов технологического лидерства и входящих в них девяти федеральных проектов в 2026–2028 гг. определены в размере 1.9 трлн руб. (примерно 600 млрд руб. в год), что явно недостаточно для успешного достижения заявленных целей. Следует отметить, что в условиях жёстких бюджетных ограничений прирост расходов предусмотрен только для национальных проектов “Космос” и “Биоэкономика”, затраты на остальные нацпроекты в 2026 г. сокращены относительно прежних планов, установленных в том числе в бюджете на 2025–2027 гг.

Озабоченность вызывает и то, что фактическое исполнение даже скромных бюджетных планов оставляет желать лучшего: по имеющимся оценкам, в 2025 г. оно не превысило 70–75%, а в 2026 г. и вовсе может составить не более двух третей запланированных расходов, усиливая дефицит финансирования. Складывающаяся ситуация ставит под сомнение выполнение в полном объёме заявленных в рамках нацпроектов технологического лидерства амбициозных целевых показателей, например, достижение к 2030 г. уровня технологической независимости в производстве средств производства до 95%, по новым материалам и химии до 100%, доли отечественного оборудования в ТЭК до 90% и т.п.

Особенно уязвимым оказывается *гражданский сектор исследований и разработок*, критически важный

¹ Мультипликатор – это коэффициент (соотношение) финансовых показателей компании и её стоимости.

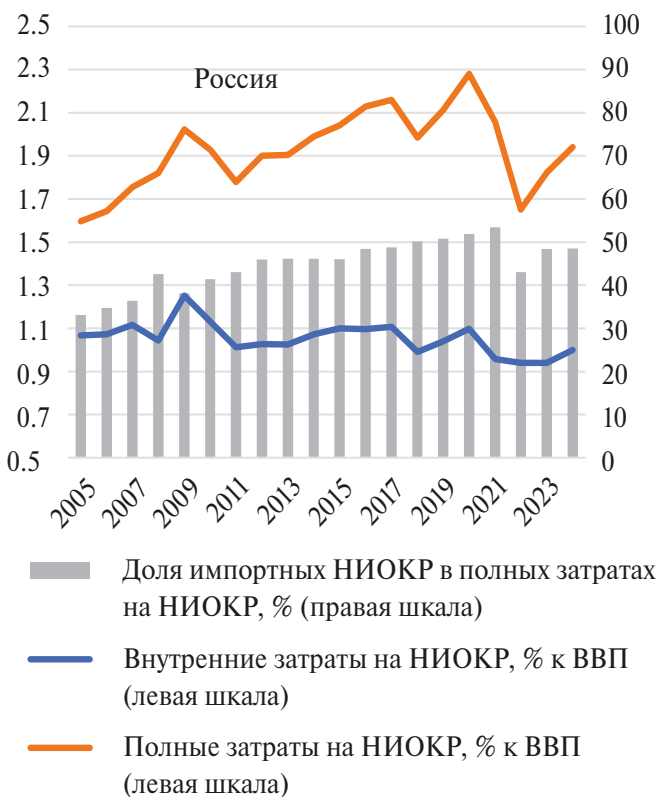
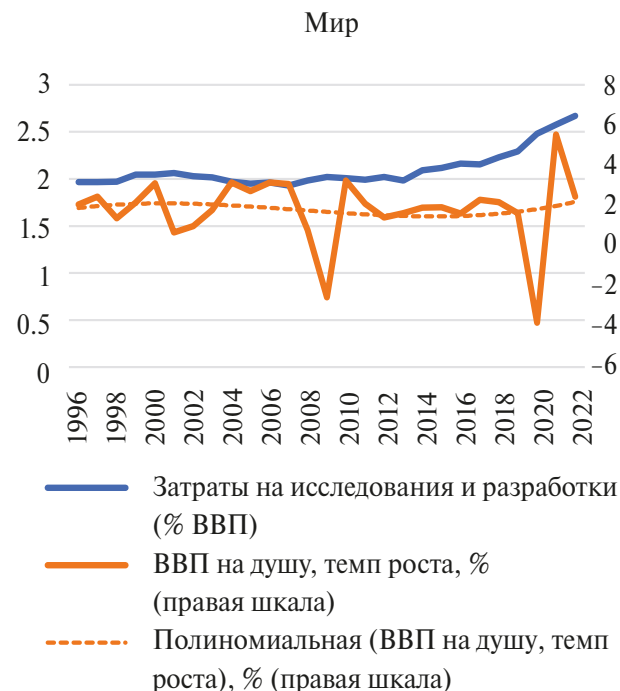


Рис. 2. Затраты на НИОКР (% ВВП) в мире и в России
 Источник: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>; <https://data.worldbank.org/>, расчёты ИИП РАН.

Fig. 2. R&D expenditure (% of GDP) in the world and in Russia

Source: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>; <https://data.worldbank.org/>, calculations by the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences.

для повышения качества экономического роста, но финансируемый, по сути, по остаточному принципу. В существующей иерархии приоритетов финансирования первенство, по понятным причинам, отдаётся оборонно-промышленному комплексу и социальной политике государства, а также топливно-энергетическому комплексу и крупным инвестиционным проектам с гарантированным спросом. Следующий в этой иерархии уровень, на котором находится научно-технологический комплекс (наука, образование, значительная часть высокотехнологичного сектора гражданской промышленности) уже испытывает жёсткие бюджетные и ресурсные ограничения. Проблема усугубляется традиционно высокой долей государства в структуре внутренних затрат на НИОКР (порядка 2/3 всех расходов²), значительно превышающей современный уровень не только развитых стран, но и партнёров России по БРИКС. Очевидно, что при имеющихся бюджетных ограничениях увеличение затрат на исследования и разработки за счёт государственного финансирования крайне затруднено, а значит, необходимо развивать эффективные механизмы частного финансирования НИОКР.

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАК ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИМПЕРАТИВ

Перечисленные обстоятельства диктуют необходимость *выбора ограниченного числа приоритетов* научно-технологического развития, обоснование же такого выбора, в свою очередь, требует научно-технологического прогнозирования и разработки долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации³.

Как подчёркивал академик В.В. Ивантер, “прогнозирование – это не попытка предсказать будущее, а способ оценить возможные проблемы, которые вытекают из решения проблем насущных. Иначе говоря, решение сегодняшней проблемы предопределяет возникновение будущей проблемы. Или, как в своё время сформулировал Андрей Белоусов, это определение будущих угроз. Чтобы эти угрозы не реализовывались, необходим уже сейчас соответствующий набор действий” [5]. Исходя из такого понимания прогнозирования выбор приоритетов научно-технологического развития должен опираться на *комплексную оценку* потенциального вклада каждой из научно-технологических альтернатив в решение текущих проблем и формирование ответа

² Для сравнения, такая доля финансирования НИОКР государством была характерна для США в 1965 г. [2, с. 191].

³ Такой прогноз на период до 2030 г. был разработан в 2013 г. и с тех пор не обновлялся; в настоящих условиях геополитического и геоэкономического противостояния, долгосрочной стратегии на укрепление экономического и технологического суверенитета России и борьбы за технологическое лидерство он практически неприменим. Представляется правомерным поставить вопрос о разработке нового, а не обновлении упомянутого прогноза научно-технологического развития.

на существующие большие вызовы устойчивому социально-экономическому развитию⁴.

Экономическое обоснование является обязательным, важнейшим элементом такой оценки. При этом речь не идёт о том, чтобы рекомендовать к поддержке исключительно те направления исследований и разработок, которые обеспечивают немедленную экономическую отдачу. Такой подход был бы методологически и стратегически ошибочен [2, с. 143–144]. Однако экономическая составляющая должна присутствовать обязательно, поскольку затраты на НИОКР и внедрение технологий, с одной стороны, создают безусловный позитивный эффект через инвестиционный спрос, рост производительности и расширение рынков, а с другой – порождают риски, связанные с изменением относительных цен, удорожанием продукции и возможным ухудшением конкурентоспособности. Необходимо оценивать *интегральный эффект*, который не всегда оказывается положительным и зависит от конкретных условий освоения результатов НИОКР национальной экономики⁵.

Примеры из энергетики хорошо иллюстрируют подобную дилемму. Возобновляемые источники энергии (солнечные и ветровые электростанции), которые относятся к элементам нового технологического уклада, выглядят перспективными с экологической точки зрения, прежде всего имея в виду снижение вредных выбросов и эмиссий парниковых газов. Однако экономический анализ показывает, что по критерию “затраты–эффективность” они уступают АЭС и современным ТЭС на газе как по объёму указанных эмиссий в расчёте на единицу полных затрат на сооружение и эксплуатацию электростанций, так и по объёму производства электроэнергии в расчёте на единицу мощности [7, 8]. Последнее подразумевает необходимость сооружения и ввода значительно большего количества мощностей на основе ВИЭ по сравнению с упомянутыми выше технологиями. Учитывая, что материалоемкость строи-

тельства единичной мощности современной газовой ТЭС на порядок меньше таковой у солнечных и ветровых электростанций (соответственно, в 13 и 17 раз), выбор приоритета в пользу ВИЭ означает многократное увеличение спроса и масштабов потребления материалов на инвестиционной стадии, не говоря уже о росте капиталоемкости и совокупных финансовых затрат. Аналогичная ситуация складывается и в отношении водородной энергетики, где, помимо высоких издержек, существенную роль играет технологическая и экономическая ограниченность потенциального рынка [8].

МЕТОДОЛОГИЯ, НОРМАТИВНАЯ БАЗА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Обоснованность установления приоритетов научно-технологического развития в решающей мере определяется аргументированным выбором методологии и эффективностью системы организации прогнозирования. Хорошо известно, что методологически прогноз научно-технологического развития можно разрабатывать как снизу вверх, то есть исходя из возможностей развития и использования данной технологии или группы технологий и оценки последствий их воздействия на различные сферы экономики и общественной деятельности, так и сверху вниз, отталкиваясь от потребностей экономики и общества, которые служат стратегическими целевыми ориентирами; их удовлетворение в конечном счёте должны обеспечить научно-технологические разработки и их результаты. В соответствии с этим различают *поисковый*⁶ и *нормативный подходы* к научно-технологическому прогнозированию [9, с. 38–46]⁷.

Наиболее эффективным представляется *синтез обоих подходов*, основы методологии которого в нашей

⁴ Сформулированы в действующей Стратегии НТР России (Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145 “О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации”) и включают: а) исчерпание возможностей экономического роста России, основанного на экстенсивной эксплуатации сырьевых ресурсов; б) качественные изменения глобальных и локальных энергетических систем, трансформацию мирового порядка; в) влияние измененный климата на экономику, социальную сферу и окружающую среду; г) новые гибридные внешние угрозы национальной безопасности; д) необходимость эффективного освоения и использования пространства; е) демографический переход, изменение расселения и образа жизни людей.

⁵ Как отмечал академик А.И. Анчишкин, “научно-технический прогресс – это всегда не только экономия общественного труда, но и рост его затрат. В таких условиях *главная экономическая задача управления научно-техническим прогрессом состоит в том, чтобы дополнительный эффект превышал дополнительные затраты, к чему и сводится осуществление научно-технического прогресса на эффективной основе*. Если складываются обратные соотношения – эффект не покрывает дополнительные затраты, то научно-технический прогресс может превратиться в фактор, сдерживающий интенсификацию производства” [6, с. 328].

⁶ В монографии [9] вместо термина “поисковый” используется термин “изыскательский (прогноз)”, который представляется не самым удачным переводом понятия “exploratory” в английском оригинале указанной работы.

⁷ Вопрос о том, в какой мере эти подходы корреспондируют с известными моделями форсайт- (foresight) и форкаст- (forecast) прогнозирования остаётся дискуссионным. Оценка в значительной степени зависит от интерпретации лежащих в основе этих подходов и моделей концепций, обсуждению которых посвящены многие десятки публикаций в отечественной и зарубежной научной литературе. Авторы придерживаются точки зрения, согласно которой форсайт представляет собой прогноз-предвидение, в основе которого – не столько предсказание будущего, сколько представление его возможных вариантов (образов), что достаточно близко к поисковой модели научно-технологического прогноза. Применительно к последнему в рамках форкаста формирование образа будущего ориентируется на определяемые на высшем уровне принятия решений стратегические цели развития и возможные сценарии (включая базовые направления и механизм) их достижения. Данная трактовка форкаста отличается как от её традиционной версии (типа прогноза погоды, weather forecast), так и вышеупомянутой характеристики форсайта, одновременно сближая её с нормативной моделью научно-технологического прогнозирования.

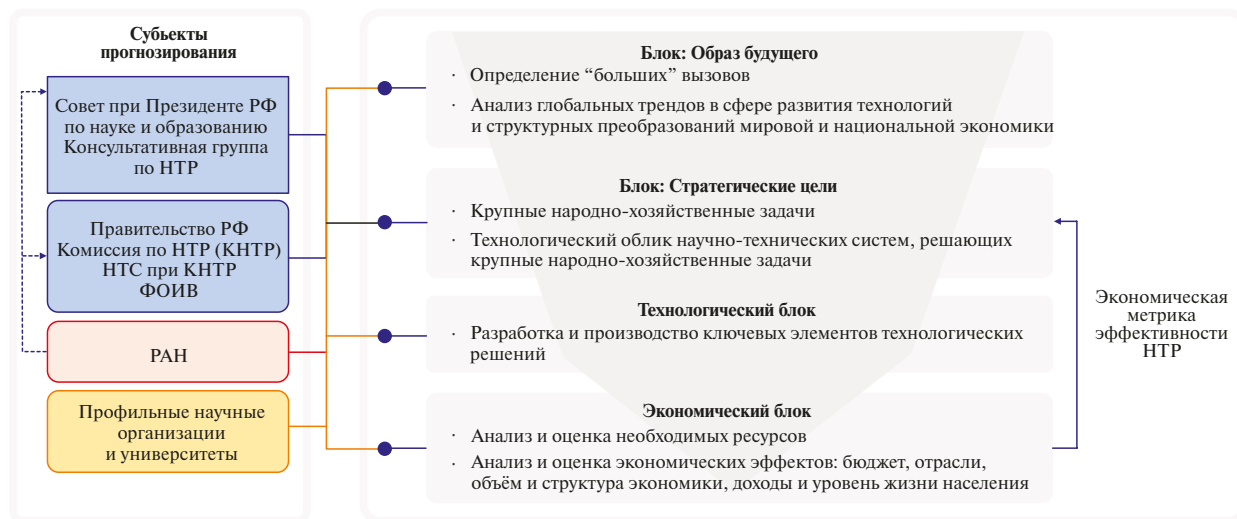


Рис. 3. Методология организации, структура и ключевые субъекты стратегического прогнозирования научно-технологического развития

Источник: составлено авторами.

Fig. 3. Organizational methodology, structure, and key actors in strategic forecasting of scientific and technological development

Source: compiled by the authors.

стране были разработаны в конце 1960-х годов применительно к Комплексной программе научно-технического прогресса (КП НТП)⁸ и получили серьёзный импульс к развитию в последние годы благодаря принятию серии указов Президента Российской Федерации, прежде всего Указу № 220 от 15 апреля 2021 г. [10–12]. В соответствии с п. 1 данного документа стратегического планирования задача разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития страны возложена на Консультативную группу по научно-технологическому развитию. Это рабочий орган Совета при Президенте РФ по науке и образованию, на который Федеральным законом Российской Федерации «О внесении изменения в ст. 22⁹ Федерального закона РФ “О стратегическом планировании”» (ФЗ от 17 февраля 2023 г. № 28) возложены координация и методическое обеспечение решения указанной задачи [13].

Под эгидой вышеупомянутой Консультативной группы были разработаны рекомендации по методо-

⁸ Необходимость интегрального подхода к прогнозированию один из ведущих разработчиков и координаторов КП НТП академик А.И. Анчишкин аргументировал тем, что НТП осуществляется во взаимодействии трёх структур: структуры научных знаний (соответствует структуре объекта познания), технологической структуры и структуры производства (выпуска продукции); главная роль здесь принадлежит технологической структуре, “поскольку именно в технологии непосредственно материализуются научные знания, а развитие технологических процессов определяет прогресс в материально-техническом базисе производства”. При этом «экономическая эффективность – главное звено всей системы “наука–техника–экономика”» [6, с. 326–328].

⁹ Статья 22 “Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации”.

логии стратегического прогнозирования научно-технологического развития России, охватывающие принципы, этапы, организационные основы, информационное обеспечение прогнозирования научно-технологического развития и порядок формирования основных положений прогноза, которых придерживаются авторы статьи. В соответствии с этой методологией отправной точкой выступают формирование образа будущего и система “больших вызовов”, которые далее декомпозируются на стратегические цели, представленные в виде крупных народно-хозяйственных задач и общего облика предназначенных для их решения научно-технических систем. На следующих этапах формируются блоки конкретных технологий, обеспечивающих достижение этих целей, и, наконец, экономический блок, увязывающий технологические решения с макроэкономическими параметрами и ресурсными ограничениями (рис. 3).

Ключевыми субъектами стратегического прогнозирования научно-технологического развития России (помимо вышеупомянутых Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию и его Консультативной группы по научно-технологическому развитию) являются: во-первых, Комиссия по научно-технологическому развитию Правительства России, основная задача которой – координация работы федеральных органов исполнительной власти по разработке принципов научно-технической политики, государственных программ и инновационных проектов государственного значения, координация работы руководителей по научно-технологическому развитию в 28 федеральных ведомствах, а также в регионах, и Научно-технический совет (НТС) данной комиссии, основные функции которого включают экспертизу и мониторинг реализации нацпроектов техно-

логического лидерства в части научного и кадрового обеспечения; во-вторых, Российская академия наук; в-третьих, профильные научные организации и университеты (прежде всего исследовательские и инженерные центры) (рис. 3).

Перечисленные субъекты вкуче с их процедурами принятия решений и используемым для этой цели инструментарием анализа и моделирования, а также механизмом их взаимодействия формируют организационную систему стратегического прогнозирования научно-технологического развития (рис. 4).

Конечный результат их деятельности – комплексный прогноз, который увязывает *оценки научно-технологического развития*, прежде всего базовые направления и технологии, выбранные на основе многокритериального анализа базы данных о перспективных технологиях, сформированной на основе экспертного прогноза-предвидения (блок FORESIGHT, на рис. 4 справа), и *сценарии социально-экономического развития*, основанные на (а) образе будущего и его целевых характеристиках, заданных на высшем уровне принятия решений в документах стратегического планирования, и (б) оценке ограничений развития, которые в итоге формируют нормативный социально-экономический прогноз (блок FORECAST, на рис. 4 слева). Как уже подчёркивалось выше, только такой интегральный подход может служить основанием для формирования целостной стратегии развития, обеспечивающей желаемые долгосрочные перспективы, увязывая между собой основные направления развития экономики и технологий.

Формирование прогноза можно описать следующим образом. Существует *неорганизованный* поток

идей, знаний и предложений (новые технологии, ноу-хау, проектные инициативы), порождаемый творческими индивидами, их малыми группами (коллективами) и т.д., на который накладывается аналогичный поток, формируемый функционирующей параллельно системой *организованной* генерации и отбора идей, знаний и предложений, управляемой (координируемой) институтами квалифицированного и стратегического заказчика. Суперпозиция (пересечение) этих потоков формирует кластер перспективных направлений, в рамках которого проводится дальнейший отбор и уточнение приоритетов для сценариев развития, объединяющих социально-экономический и собственно научно-технологический компоненты комплексного прогноза.

Особое внимание должно быть уделено качеству и объёму информации, используемой для прогнозирования. На практике задействуют широкий набор статистических и аналитических данных, которые зачастую слабо структурированы и недостаточно согласованы между собой. Особенно это характерно для массивов данных о новых технологиях в блоке FORESIGHT, что порождает потребность в инструментах, позволяющих систематизировать и упорядочивать эти массивы. Ещё сравнительно недавно такие инструменты отсутствовали, и задача оказывалась трудноразрешимой, однако в последние годы ситуация радикально изменилась благодаря развитию цифровых технологий, моделей искусственного интеллекта и лингвистических моделей (см. блок AI-модели, справа на рис. 4).

В ряде научных институтов, включая ЦЭМИ РАН, создаются *цифровые двойники национальной экономики*, которые позволяют увязывать параметры использо-

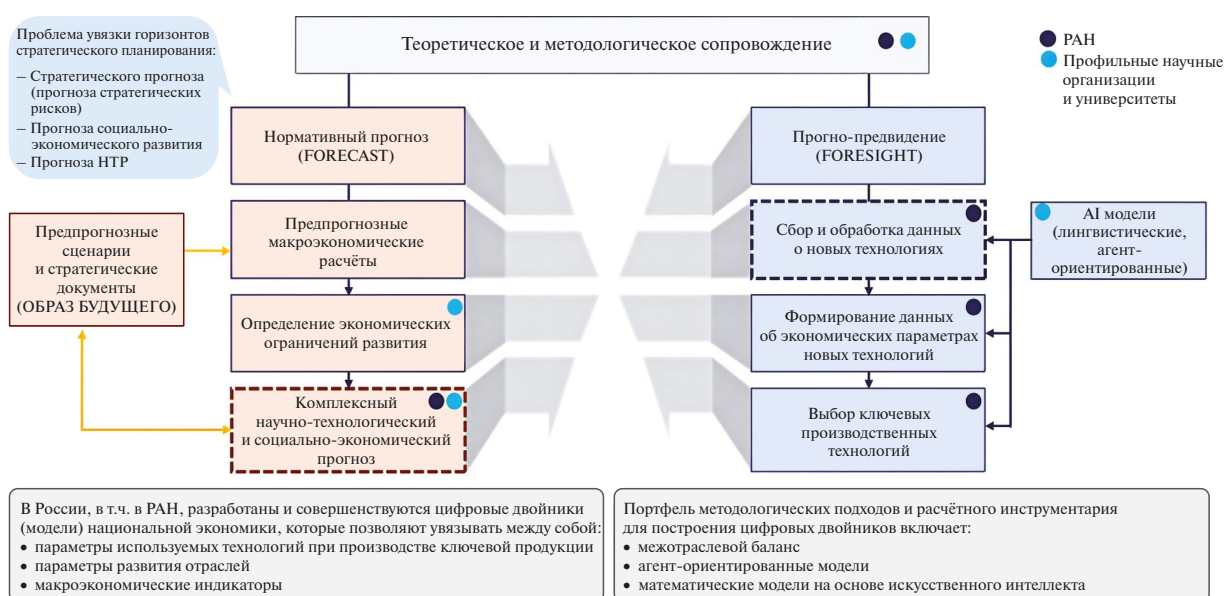


Рис. 4. Схема взаимодействия ключевых субъектов стратегического прогнозирования научно-технологического развития

Источник: составлено авторами.

Fig. 4. Diagram of interaction between key actors in strategic forecasting of scientific and technological development

Source: compiled by the authors.

вания технологий в производстве ключевых видов продукции, отраслевые показатели развития и макроэкономические индикаторы. Наряду с моделями на основе искусственного интеллекта используются классические экономические инструменты, наиболее эффективными из которых являются модели межотраслевого баланса. Анализ данных с использованием всего портфеля аналитических инструментов позволяет перейти от комплексной характеристики перспективных технологий к оценке их экономических параметров, необходимых для выбора ключевых производственных решений. Эти параметры затем сопоставляются с ограничениями развития, задаваемыми нормативным социально-экономическим прогнозом, что обеспечивает согласование научно-технологических приоритетов с реалиями материальных, кадровых и финансовых ресурсов и институциональной среды.

Особое значение имеет корректная оценка экономических параметров новых технологий и выбор ключевых технологических блоков, причём подобная оценка является не пожеланием на будущее, но уже реализуемой практикой. Это подтверждают, в частности, детализированные экономические расчёты, проведённые при непосредственном участии авторов данной статьи в рамках реализации Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) “Единая государственная система мониторинга климатически активных газов”, охватывающего проблемы развития с низким уровнем эмиссий парниковых газов и адаптации населения и экономики к климатическим изменениям до середины текущего столетия. Оценки показали, что эффект от ожидаемой реализации полученных в ходе первого этапа ВИП ГЗ (2022–2025) результатов научных работ только к 2030 г. может достигать 1 трлн руб. Эта величина демонстрирует масштаб экономического эффекта в сценарии развития, реализующего предложенный учёными комплекс уже имеющихся в стране научно-технологических достижений в сравнении с инерционным сценарием, в котором предлагаемые меры отсутствуют [14]. Подобные расчёты служат важным аргументом в диалоге учёных и специалистов с ведомствами, доказывая, что эффективность инвестиций в науку имеет серьёзную экономическую основу и подтверждается практикой.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ: ВКЛАД НАУЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА

Подводя итог, кратко остановимся на трёх важных обстоятельствах.

Во-первых, речь идёт об *особой роли и вкладе* Российской академии наук. Члены РАН – важная составляющая кадрового потенциала формируемой системы научно-технологического прогнозирования. Так, на топ-уровне представители академического сообщества составляют примерно четверть состава Консультативной группы по научно-технологическому развитию и более 2/3 – состава НТС правительственной Комис-

сии по научно-технологическому развитию (включая президента РАН – председателя НТС)¹⁰.

В рамках упомянутой системы ведущие учёные и специалисты РАН выполняет двойную функцию: с одной стороны, обеспечивают экспертизу и мониторинг реализации важнейших научно-технологических проектов и программ, с другой стороны, участвуют в обосновании приоритетов научно-технологического развития на верхнем уровне принятия государственных решений и разработке стратегических прогнозов научно-технологического развития в приоритетных направлениях. Примерами такой деятельности могут служить энергетика и космос, комплексный научно-технологический прогноз развития которых был в целом успешно разработан в 2025 г. и в начале 2026 г. находится на финальной стадии достройки экономического блока. На 2026 г. запланирована и уже начата разработка стратегических прогнозов научно-технологического развития в сфере продовольственной безопасности и транспортной связанности территории страны. Показательно, что работы по научно-технологическому прогнозированию развития этих особо важных для современной России сфер экономики и национальной безопасности возглавляют члены Академии наук.

Во-вторых, следует ещё раз подчеркнуть необходимость и значимость *серьёзного обновления существующей в России системы управления наукой и научно-технологической политики* в целом, прежде всего на федеральном, а также региональном уровнях [15–17], включая увеличение финансирования и важные изменения в организации научных исследований. Формируемая система стратегического прогнозирования научно-технологического развития должна стать неотъемлемой и важнейшей частью этих преобразований. Комплексный научно-технологический прогноз, интегрированный с социально-экономическими сценариями, является необходимым инструментом обоснования и условием успеха национальной стратегии развития. Он позволяет согласовывать научные и технологические приоритеты с ресурсными, институциональными и структурными условиями, обеспечивая эффективную реализацию научно-технологического потенциала, более высокое качество экономического роста и улучшает перспективы страны на достижение долгосрочного технологического и экономического лидерства.

В-третьих, необходимо вернуть на верхние ступени иерархии приоритетов *динамику* и, особенно, *качество* экономического роста, без которых неизбежен риск долгосрочной экономической стагнации и социальной напряжённости. Императивом выступает *повышение сложности экономики, её структуры и связей*, прежде всего за счёт удлинения производственных цепочек, что предполагает структурный сдвиг в сторону более интенсивного использования высокотехнологичной продукции, IT-услуг, научных услуг и слож-

¹⁰ В самой комиссии представители Академии наук (включая президента РАН – заместителя председателя комиссии) составляют всего лишь 6%, что, скорее всего, недостаточно.

ного оборудования. Именно здесь возникает прямая связь с научно-технологическим развитием и научно-технологическим прогнозированием, которое должно задавать рамки и ориентиры для экономической политики, обеспечивая её эффективность, а значит, и технологический суверенитет страны [18, 19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Solow R.M. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*. 1957, pp. 312–320.
2. Капица П.Л. *Эксперимент. Теория. Практика: статьи и выступления*. М.: Наука, 1987.
Kapitsa P.L. *Experiment. Theory. Practice: articles and speeches*. М.: Nauka, 1987. (In Russ.)
3. Громека В.И., Порфирьев Б.Н., Баранов В.И. и др. *Государственно-монополистическая политика в сфере науки и техники*. М.: Наука, 1989.
Gromeka V.I., Porfiryev B.N., Baranov V.I., et al. *State-monopoly policy in the sphere of science and technology*. Moscow: Nauka, 1989. (In Russ.)
4. Ивантер В.В. Россию ждет НЭП и восемь процентов роста экономики. *Российская газета – Федеральный выпуск* № 9(6281), 17.01.2014.
Ivanter V.V. Russia awaits the NEP and eight percent economic growth. *Rossiyskaya Gazeta – Federal Issue* No. 9(6281), 01/17/2014. (In Russ.)
5. Ивантер В.В. Прогноз в духе братьев Стругацких. *Российская газета – Федеральный выпуск* № 104(6972), 16.05.2016.
Ivanter V.V. Forecast in the spirit of the Strugatsky brothers. *Rossiyskaya Gazeta – Federal issue* No. 104(6972), 05/16/2016. (In Russ.)
6. Анчишкин А.И. *Наука – техника – экономика*. 2-е изд. М.: Экономика, 1989.
Anchishkin A.I. *Science – technology – economics*. 2nd ed. М.: Economics, 1989. (In Russ.)
7. Широ́в А.А., Колпако́в А.Ю. Целевой сценарий социально-экономического развития России с низким уровнем нетто-выбросов парниковых газов до 2060 года. *Проблемы прогнозирования*. 2023. № 6 (201). С. 53–66. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-201-53-66>
Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. Target scenario for the socio-economic development of Russia with a low level of net greenhouse gas emissions until 2060. *Problems of Forecasting*. 2023, no. 6 (201), pp. 53–66. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-201-53-66> (In Russ.)
8. Филиппов С.П. Переход к углерод-нейтральной экономике: возможности и пределы, актуальные задачи. *Теплоэнергетика*. 2024. № 1. С. 21–40.
Filippov S.P. Transition to a carbon-neutral economy: possibilities and limits, current tasks. *Thermal Power Engineering*. 2024, no. 1, pp. 21–40. (In Russ.)
9. Янч Э. *Прогнозирование научно-технического прогресса*. Общая редакция и предисловие Д.М. Гвишиани. М.: Прогресс, 1974.
Yanch E. *Forecasting Scientific and Technological Progress* / General editorship and foreword by D.M. Gvishiani. Moscow: Progress, 1974. (In Russ.)
10. Указ Президента Российской Федерации от 15 апреля 2021 г. № 220 “О консультативной группе по научно-технологическому развитию” (ред. от 25.07.2025). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_382216/
Decree of the President of the Russian Federation of April 15, 2021 no. 220 “On the Advisory Group on Scientific and Technological Development” (as amended on 25.07.2025). (In Russ.) https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_382216/ (In Russ.)
11. Указ Президента Российской Федерации от 17 августа 2023 г. № 622 “О порядке разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития Российской Федерации” (ред. от 21.07.2025). <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=602076683&backlink=1&&nd=605814649>
Decree of the President of the Russian Federation of August 17, 2023 no. 622 “On the Procedure for Developing and Adjusting the Forecast of Scientific and Technological Development of the Russian Federation” (as amended on 21.07.2025). <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=602076683&backlink=1&&nd=605814649> (In Russ.)
12. Указ Президента Российской Федерации от 26 августа 2024 г. № 735 “О внесении изменений в Положение о консультативной группе по научно-технологическому развитию и в состав этой консультативной группы, утверждённые Указом Президента Российской Федерации от 15 апреля 2021 г. № 220”. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202408260013>

- Decree of the President of the Russian Federation of August 26, 2024 no. 735 “On Amendments to the Regulation on the Advisory Group on Scientific and Technological Development and the Composition of this Advisory Group, approved by the Decree of the President of the Russian Federation of April 15, 2021 no. 220”. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202408260013> (In Russ.)
13. Федеральный Закон Российской Федерации «О внесении изменения в статью 22 Федерального закона РФ “О стратегическом планировании”». ФЗ № 28 от 17 февраля 2023 г. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_439918/
Federal Law of the Russian Federation «On Amendments to Article 22 of the Federal Law of the Russian Federation “On Strategic Planning”». FZ no. 28 of February 17, 2023. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_439918/ (In Russ.)
 14. Порфирьев Б.Н., Колпаков А.Ю., Елисеев Д.О. и др. Экономические эффекты изменения климата в России. *Проблемы прогнозирования*. 2025. № 2(209). С. 20–36. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-209-20-36>
Porfiriev B.N., Kolpakov A.Yu., Eliseev D.O., et al. Economic Effects of Climate Change in Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2025, vol. 36, pp. 161–174. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-209-20-36> (In Russ.)
 15. Порфирьев Б.Н., Широков А.А. Структурно-технологические сдвиги и модернизация экономики России: средне- и долгосрочные перспективы. *Вестник РАН*. 2024. Т. 94. № 3. С. 255–262.
Porfiriev B., Shirov A. Structural and technological shifts and modernization of the Russian economy: mid-term and long-term prospects. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2024, vol. 94, no. 3, pp. 255–262. (In Russ.)
 16. Клепач А.Н., Водоватов Л.Б., Дмитриева Е.А. Российская наука и технологии: взлёт или прогрессирующее отставание (Часть II). *Проблемы прогнозирования*. 2023. № 1(196). С. 6–15.
Klepach A.N., Vodovатов L.B. & Dmitrieva E.A. Russian Science and Technology: Rise or Progressive Lag (Part II). *Studies on Russian Economic Development*. 2023, vol. 34, pp. 1–8. (In Russ.)
 17. Матвеев Д.А., Белоусов Д.Р., Ганичев Н.А., Солнцев О.Г. Экосистемный подход к реализации научно-технологического потенциала регионов: обобщение международного опыта и уроки для России. *Проблемы прогнозирования*. 2026. № 1 (214). С. 183–194. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-214-183-194>
Matveev D.A., Belousov D.R., Ganichev N.A., and Solntsev O.G. An Ecosystem Approach to Realizing Regional S&T Potential: International Experience and Lessons for Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2026, vol. 37, no. 1, pp. 130–138. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-214-183-194> (In Russ.)
 18. Трансформация российской экономики в условиях формирования технологического суверенитета / Под ред. Е.Б. Ленчук. СПб.: Алетея, 2024.
Transformation of the Russian economy in the context of the formation of technological sovereignty / Ed. by E.B. Lenchuk. St. Petersburg: Aletheia, 2024. (In Russ.)
 19. Широков А. Качество роста в современной российской экономике. *Моноколь*. 2025. № 1–3 (22 декабря 2025 – 18 января 2026). С. 66–69.
Shirov A. Quality of growth in the modern Russian economy. *Monocle*. 2025, no. 1–3 (December 22, 2025 – January 18, 2026), pp. 66–69. (In Russ.)

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040078

Оригинальная статья

ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ
ЛИДЕРСТВУ В ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

А.Л. Максимов*

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,
Москва, Российская Федерация
E-mail: max@ips.ac.ru

Аннотация. Роль химической отрасли в промышленности предопределил её сквозной характер: уровень технологического лидерства при производстве химических веществ и материалов непосредственно влияет на развитие подавляющего большинства отраслей экономики (от сельского хозяйства до микроэлектроники и космической отрасли). В статье рассматриваются основные требования к исследованиям для обеспечения как технологического суверенитета, так и технологического лидерства в области химии при реализации национального проекта по обеспечению технологического лидерства “Новые материалы и химия”, определены наиболее перспективные направления исследований для достижения его целей, обсуждается роль научно-исследовательских организаций в реализации и развитии указанных технологий.

Ключевые слова: химическая промышленность, химические технологии, технологический суверенитет, технологическое лидерство

Финансирование. Государственное задание ИНХС РАН.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Автор благодарит членов Отделения химии и наук о материалах РАН за предоставленную информацию при подготовке работы.

Ссылка для цитирования: Максимов А.Л. От технологической независимости к технологическому лидерству в химической отрасли. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 357–368. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040078>

Поступила в редакцию 02.02.2026

После доработки 02.02.2026

Принята к публикации 15.02.2026



МАКСИМОВ Антон Львович – академик РАН, директор ИНХС РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: director@ips.ac.ru, <https://doi.org/0000-0001-9297-4950>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040078

Original Article

FROM TECHNOLOGICAL INDEPENDENCE TO TECHNOLOGICAL
LEADERSHIP IN THE CHEMICAL INDUSTRY

A.L. Maksimov*

*A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation*

**E-mail: max@ips.ac.ru*

Abstract. The role of the chemical industry is determined by its cross-cutting nature: the level of technological leadership in the production of chemicals and materials directly influences the development of the vast majority of economic sectors (from agriculture to microelectronics and the space industry). This article examines the key research requirements for ensuring both technological sovereignty and technological leadership in chemistry during the implementation of the national project for technological leadership “New Materials and Chemistry”. The most promising research areas for achieving its goals are highlighted, and the role of research organizations in the implementation and development of these technologies is discussed.

Keywords: chemical industry, chemical technologies, technological sovereignty, technological leadership

Funding. This work was carried out within the State Program of TIPS RAS.

Conflict of Interest. The author declares no conflict of interest.

Acknowledgments. The author thanks the members of the Division of Chemistry and Materials Science of the Russian Academy of Sciences (RAS) for the information provided during the preparation of the manuscript.

For Citation: Maksimov A.L. From technological independence to technological leadership in the chemical industry. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 357–368. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040078>

Received February 02, 2026

Revised February 02, 2026

Accepted February 15, 2026

MAKSIMOV Anton L. — academician of the Russian Academy of Sciences, director of the A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, RAS, Moscow, Russian Federation, e-mail: director@ips.ac.ru, <https://doi.org/0000-0001-9297-4950>.

Роль химической промышленности в мировой экономике трудно переоценить. Утверждение министра химической промышленности СССР Л.А. Костандова “Какова химия – такова и жизнь” появилось неслучайно. Полупродукция и продукция химии активно используются в подавляющем большинстве отраслей промышленности – от авиа- и автомобилестроения до сельского хозяйства и микроэлектроники. Бесспорным лидером в этой области является Китай, который производит более 30% мировой химической продукции; значительную долю этого рынка традиционно занимают США, страны ЕС и Япония (рис. 1).

В России современное состояние химической отрасли не соответствует той роли, которую она играет в развитии промышленности и экономики в целом. Несмотря на богатые ресурсы, на нашу страну приходится лишь 1.5% мирового объёма химического производства, и хотя в последние годы отмечается резкое увеличение капиталовложений в отрасль, её доля в ВВП остаётся небольшой, в особенности в сравнении с другими развитыми и развивающимися странами. Так, в КНР на химию приходится 10.6% ВВП, в Индии – 6.6%, в США и других развитых странах – более 3.5%. В течение длительного времени у нас остаются низкими и затраты на НИОКР в этой области, на порядок уступаая странам-лидерам. Сегодняшняя особенность российской химии – ограниченность спектра производимых химических продуктов, тотальная зависимость от западных технологий и поставок высокотехнологичной химической продукции, а теперь от средних по уровню технологий и химических продуктов Китая и других дружественных стран [1–3].

Основная доля производства в России приходится на крупнотоннажную химию, в основном на удобрения, базовую нефтехимию и базовые крупнотоннажные полимеры; в стоимостном выражении речь идёт о почти половине всего выпуска химической продукции (рис. 2, табл. 1) [4, 5]. К 2035 г. предполагается резкое увеличение производства полимеров и объёма

продукции (почти в 2 раза) за счёт ввода новых мощностей. Однако структура переработки базового нефтехимического сырья имеет существенный недостаток: всего около 3% от общего его количества идёт на выпуск нефтехимических продуктов, тогда как в мире эта цифра превышает 16%. У нас две трети продукции приходится на крупнотоннажную химию, а в экспорте она является преобладающей. Россия проигрывает не только развитым странам, но и лидеру по общему объёму химического производства – КНР. Это во многом предопределяет малую долю химии в промышленном производстве, в особенности если говорить о продукции высоких переделов для высокотехнологичных отраслей (будь то продукты средне- и малотоннажной химии, тонкого органического синтеза, высокочистых веществ или новые материалы и их компоненты). Это хорошо видно при сравнении структуры экспорта химической продукции в РФ и в других странах (табл. 2).

Если для развитых стран существенное значение имеет фармацевтическая продукция и полупродукты, полученные из органических материалов, в КНР – химические полупродукты и продукты высоких переделов наряду с изделиями из полимеров и новых материалов, то в России основу экспорта составляют удобрения, неорганические материалы и базовые полимеры в различных формах. Такая ситуация объясняется тем, что при относительно благополучном положении в двух указанных крупнотоннажных подотраслях химическая промышленность сталкивается с рядом проблем: отсутствием производства большинства промежуточных веществ и полупродуктов в средних переделах, что не позволяет выпускать конечную высокотехнологичную продукцию. Так, производство современных материалов сталкивается с дефицитом как продукции средних и высоких переделов, в том числе и тех, что были хорошо известны во времена СССР, так и ряда видов сырья, которое является ключевым для новых отраслей (энергетика, новые материалы, микроэлектроника и др.). Как следствие, при производстве конечных

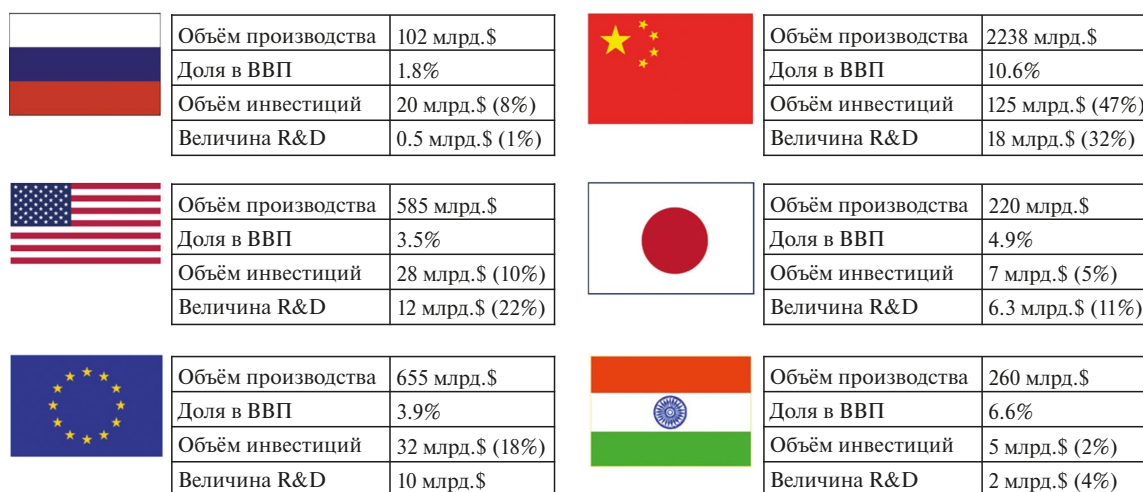
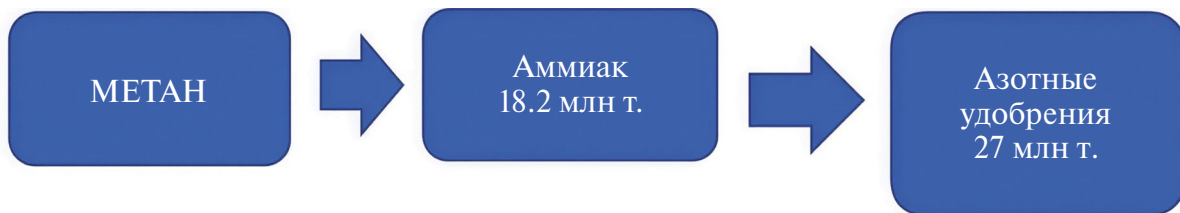


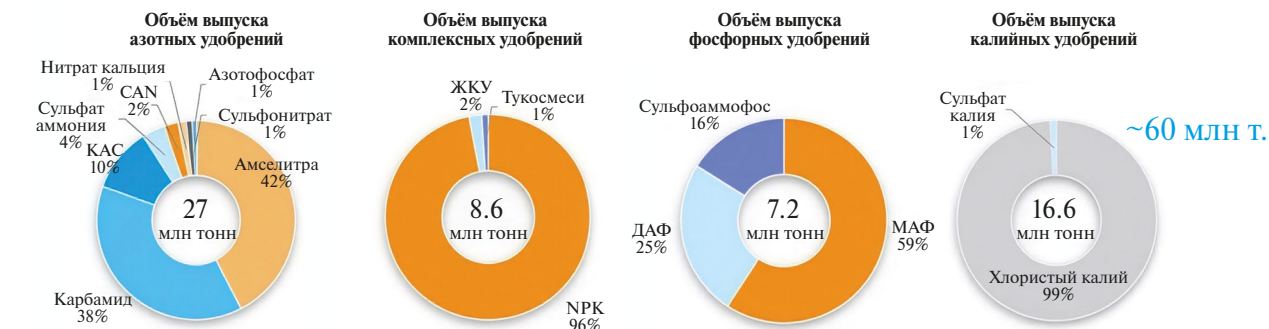
Рис. 1. Роль и уровень развития химии в разных странах

Fig. 1. The role and level of development of chemistry in different countries

a



КОНКУРЕНТНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО:
ДОСТУПНОСТЬ И ЦЕНА ГАЗА; МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ К И ФОСФОРА



b

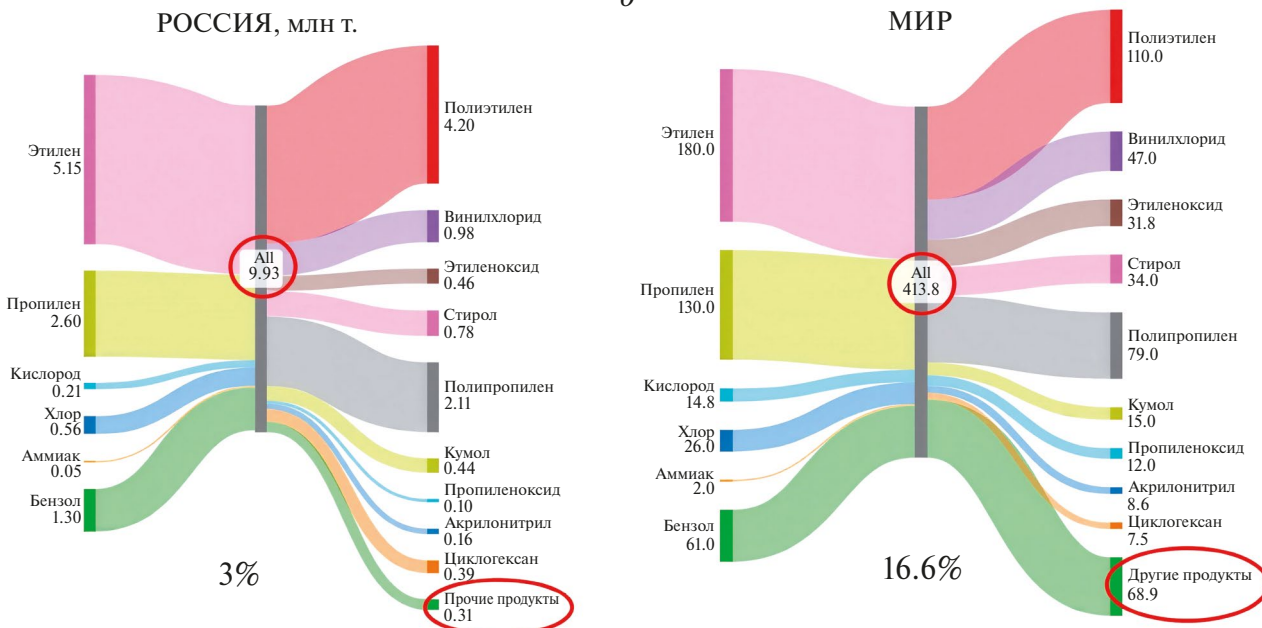


Рис. 2. Производство крупнотоннажной химической продукции в РФ: *a* – удобрения; *b* – продукция нефтехимии
Fig. 2. Production of large-scale chemical products in the Russian Federation: *a* – fertilizers; *b* – petrochemical products

продуктов и материалов, в том числе композиционных, используются зарубежные товары. Кроме того, в условиях санкций ряд веществ и материалов нам не поставляют, а некоторые виды сырья для новых высокотехнологичных производств не добываются и не перерабатываются. Сохраняется высокая зависимость от зарубежных технологий. Вследствие сквозного характера химической отрасли такая ситуация, по сути, предопределяет технологическое отставание во многих других секторах экономики. Его преодоление жиз-

ненно необходимо для достижения технологической независимости во всех областях материального производства. Это предопределяет потребность в формировании и реализации проекта национального лидерства “Новые материалы и химия” [6].

Первый и наиболее существенный шаг в этом направлении – *определение спектра химических веществ и материалов*, для которых необходимо освоить технологии производства с выпуском конечной продукции.

Таблица 1. Производство нефтехимической продукции в РФ

Table 1. Production of petrochemical products in the Russian Federation

Продукт	Объём в 2025 г. млн т	Объём в 2032 г. млн т
Этилен	5.15	11.15
Пропилен	2.6	4.9
Ароматические углеводороды	1.7	3
Полиолефины	6.3	>12
Каучуки	1.5	2
Поливинилхлорид	1	1

Составлено по: [3, 5] и данным Росстата.

Compiled based on: [3, 5] and Rosstat data.

Таблица 2. Структура экспорта химической продукции в мире, РФ и КНР (по данным сайта <https://oec.world/>), %

Table 2. Structure of chemical exports in the world, Russia and China (according to the website <https://oec.world/>), %

Доля в экспорте	Мир	КНР	РФ
<i>Химия</i>	75	76	84
Фармацевтические продукты	37.3	5.2	2.3
Продукты органической химии (лактамы, гетероциклы, гормоны и стероиды, антибиотики и др.)	21.9	42.5	7.2
Химические продукты прочие (кислоты и спирты, пестициды, катализаторы, химия для микроэлектроники и др.)	10.9	17.5	2.4
Неорганические химикаты	8.6	15.3	19.8
Химия для косметики и парфюмерии	7.5	3.7	1.7
Удобрения	4.5	4.5	63.3
<i>Полимеры</i>	25	24	16
Изделия из пластиков	65	67	20
Базовые полимеры	35	33	80

Всю гамму химической продукции – а число освоенных продуктов в мире исчисляется десятками тысяч – вряд ли можно произвести в одной стране. Работа в рамках национального проекта прежде всего должна быть связана с определением набора необходимых товаров при участии бизнеса и высокотехнологичных компаний, министерств и РАН как главного экспертного органа страны. Принятие национального проекта и работа по определённым в нём направлениям – это попытка ответить на вопрос: что должно стать первоочередным в производстве химической продукции для достижения технологического суверенитета?

Национальный проект включает в себя три предметных направления, формирующих самостоятельные федеральные проекты по *производству химической продукции, производству композитных материалов и развитию отрасли редких и редкоземельных металлов*. Для такого федерального проекта, как “Развитие производства химической продукции” (рис. 3), речь идёт в основном об уже присутствующих на рынке товарах, необходимых для конечных бизнес-пользовате-

лей и закупаемых за рубежом. Цель здесь – нарастить отечественное производство мало- и среднетоннажной химии и снизить зависимость от импорта к 2030 г., включая новые технологии. При этом предполагается сохранить долю импорта на уровне 30%. Планируется запустить 138 новых производств, что позволит создать более 700 новых для производителя в РФ продуктов, достичь прироста выручки в 3 трлн руб., на 180% увеличить выпуск средне- и малотоннажной продукции.

Таким образом, задачи проекта, с учётом сегодняшнего состояния отрасли, амбициозны и включают в себя как резкий рост производства, так и снижение импортозависимости. Освоение выпуска продукции предполагается в рамках запуска 23 производственных цепочек, обеспечивающих непрерывный цикл – от базовой химии через промежуточные продукты к конечным химическим продуктам высокой добавленной стоимости и материалам. Условно предлагаемые цепочки можно разбить на несколько групп: полимерная продукция, продукция на основе неорганических соединений (прежде всего элементоорганическая химия),



Рис. 3. Производственные цепочки федерального проекта “Развитие производства химической продукции” (Паспорт национального проекта по обеспечению технологического лидерства “Новые материалы и химия”, утв. Министерством промышленности и торговли РФ, по состоянию на 19 мая 2025 г.)

Fig. 3. Production chains of the federal project “Development of chemical production” (Passport of the national project for ensuring technological leadership “New materials and chemistry”, approved by the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation, as of May 19, 2025)

ряд цепочек среднетоннажных продуктов. Кроме того, речь идёт о лесохимии, производстве активных фарм-субстанций и агрохимии. В отдельную группу выделено производство катализаторов – сквозной продукции, необходимой как для крупнотоннажной химии, так и для всех остальных цепочек. Содержательное наполнение цепочек в настоящее время связано прежде всего с требованием импортозамещения, но предусмотрена и возможность включения в ассортимент новых для рынка и инновационных с точки зрения развития химической промышленности продуктов по рекомендации научно-исследовательских организаций.

Проект “Развитие производства композиционных материалов” нацелен на разработку и внедрение технологий полимерных композитных материалов, включая новые рецептуры и методы обработки с достижением выпуска таких материалов в стоимостном выражении на 25.9 млрд руб. В рамках ещё одного федерального проекта предполагается сократить зависимость от импорта редких и редкоземельных металлов с 75 до 48% к 2030 г., а также наладить полный технологический цикл в этой сфере – от добычи руды до производства конечной продукции высоких пере-

делов, обеспечить производство полимерных композитных материалов и изделий из них.

Если говорить о реализации самого национального проекта, то перечень того, что нужно производить, будет уточняться с учётом главной цели – достижения суверенитета по конкретным продуктам и полупродуктам. Центральный элемент здесь – освоение технологий и производство уже известного ассортимента. Полупродукты и продукты, а также большая часть материалов, которые предлагается освоить, хорошо известны, технологии их производства разработаны в ряде случаев ещё в СССР. Они могут отличаться техническими решениями, которые призваны обеспечить снижение стоимости выпуска и нагрузки на окружающую среду.

В подавляющем большинстве случаев компании рассматривают возможность закупки стандартных технологий в дружественных странах или переосвоения на новом уровне ранее известных и утраченных технологий. Покупка технологий в дружественных странах (прежде всего в КНР и в существенно меньшей степени в Индии) связана с таким преимуществом, как

короткий срок по сравнению с созданием собственной технологии (1–4 года), однако эта стратегия закрепляет технологическое отставание и технологическую зависимость, в особенности относительно элементов технологий (катализаторы, реагенты, запасные части и принадлежности).

С этой точки зрения роль РАН связана прежде всего с *выбором наиболее эффективных технологий* (их оценкой) и содействием в их освоении, а также их совершенствованием. В случае воспроизведения уже известных или созданных ранее в РФ технологий необходим определённый научный и технический потенциал для создания и реализации технологии, участие организаций, имеющих опыт её внедрения. Сроки освоения могут различаться и составлять от 2 до 5 лет. Основное преимущество в данном случае – существенное снижение затрат на пилотирование или отказ от него, если ноу-хау известно. Такой подход жизненно важен в отраслях, где закупка как технологий производства, так и материалов невозможна, в частности, это касается специальных пластиков, новых высокотехнологичных композиционных материалов, микроэлектроники, новых катализаторов, фармацевтических препаратов и др. Здесь необходимо активное участие научных и инжиниринговых организаций в доработке уже известных технологий и материалов, их реверс-инжиниринг с учётом ужесточения критериев эффективности и экологической безопасности.

Следует отметить, что РАН и институты, находящиеся под её научно-методическим руководством, активно включились в этот процесс. Технологии получения, например, дикумилпероксида (ИОХ РАН), специальных полимеров, в частности, сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности (ФИЦ ИК СО РАН), полиэфирэфиркетона (ТПУ, Кабардино-Балкарский федеральный университет), полисульфона (Кабардино-Балкарский федеральный университет), полифениленсульфида (Казанский федеральный университет) и другие, уже можно считать разработанными и перешедшими на опытно-промышленную стадию. По ряду продуктов, таких как катализаторы полимеризации (МГУ, ФИЦ ИК СО РАН, ИНХС РАН), полиамины, высшие жирные спирты (ИОХ РАН, ИНХС РАН), кремнийорганические соединения (ИНЭОС РАН, ГНИХТЭОС), ведутся активные работы. В целом сформированные в институтах, находящихся под научно-методическим руководством РАН, компетенции практически по всем группам продуктов позволяют обеспечить научную поддержку реализации технологий производства практически всех продуктов национального проекта.

В настоящее время речь идёт, скорее, о суверенитете, о репликах технологий и поддержке там, где компании ощущают в этом необходимость, и здесь возможен широкий круг потенциальных исполнителей. Роль РАН должна сводиться к оценке эффективности создаваемых технологий и соответствия их мировому уровню. Работа исследовательских организаций в этом направлении позволит не только освоить в производстве наилучшие из доступных технологий, но и благодаря наработке опыта и компетенций, использования

результатов фундаментальных и поисковых исследований стать основой достижения в последующие годы технологического лидерства за счёт создания и тиражирования собственных, более совершенных по сравнению с известными технологиями, разработки новых материалов с уникальными свойствами, востребованными промышленностью. Только в этом случае возможно обеспечить преимущество на международном рынке товаров и услуг для самой отрасли и зависящих от неё отечественных потребителей продукции химии и материалов.

Центральная роль РАН и научно-исследовательских организаций видна на примере тех групп технологий производства, которые недоступны в РФ. Помимо специальных полимеров, следует указать на *химию для микроэлектроники* [7, 8]. Созданные 13 рабочих групп под руководством членов РАН и профессоров РАН и при активном участии институтов позволили Минпромторгу запустить программу импортозамещения в этой области. Уже более 90 продуктов выходят на стадию производства, причём работа ведётся в тесной кооперации разработчиков, производителей и потребителей. Это хорошо видно на примере ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН (ПХФ и МХ РАН), который стал лидером в разработке технологий производства фоторезисторов и антиотражающих покрытий, а залог успеха этих проектов – тесное взаимодействие как с промышленным производителем, так и потребителем.

Другая сфера, где налаживается тесное взаимодействие, – *производство материалов для химических источников тока* [9–12]. Создание гигафабрик требует обеспечения технологического суверенитета по всем значимым компонентам аккумуляторов. Такие работы активно ведут МГУ им. М.В. Ломоносова, Сколково, МФТИ, ИФХЭ РАН, ИОХ РАН, ИВТЭ УрО РАН и другие институты. Наряду с созданием технологий производства материалов необходимо перейти к разработке самих изделий на базе их потребителей. В то же время следует обеспечить условия для выхода на траекторию технологического лидерства, а значит, нужно создавать и реализовывать технологии производства новых типов литиевых аккумуляторов и постлитиевых накопителей энергии, аккумуляторов с твёрдым электролитом, более эффективных натрий-ионных аккумуляторов для стационарного использования и т.п. [13–18]. Работы в этом направлении ведутся, в частности, в ИФХЭ РАН. Именно создание основы для перехода к технологическому лидерству должно стать первоочередной задачей научно-исследовательских работ по национальному проекту.

Перечислю несколько общих направлений исследований. Среди них *создание технологий производства известных продуктов*, существенно превосходящих с точки зрения экономики и экологии уже применяемые, например, получение пропиленоксида с использованием гетерогенных цеолитсодержащих катализаторов и пероксида водорода [19, 20]; новые технологии карбонилирования и гидроформилирования [21–24]; новые варианты получения силиконов [25] и изоцианатов (в частности, бесфосгенные методы), там, где

возможно достижение необходимого качества продукта при реализации таких процессов [26–28]; бесхлорные методы синтеза силиконов [29] и др. Сюда же можно отнести процесс с использованием нестандартных для химии источников энергии: тепла атомных реакторов (проект ПАО “Роснефтегазом” по созданию атомно-технологической станции с высокотемпературным гелиевым реактором [30], использование электричества как источника тепла, электро- и фотохимические процессы [31–34]. С точки зрения достижения технологического лидерства ключевым требованием к новым технологиям получения известных продуктов является существенное повышение экономической и экологической эффективности по сравнению с уже известными процессами.

Другое направление создания новых технологий – *разработка процессов производства новых для российско-го рынка, только появляющихся в мире в последние годы продуктов*, которые должны заменить традиционные. Такие технологии как правило эксклюзивны, и возможность их закупки или копирования отсутствует. Например, речь может идти о специальных поверхностно-активных веществах (ПАВ), работающих при низкой температуре, замене в биохимических производствах ряда малоиспользуемых в развитых странах реагентов (например, тритон X) на новые ПАВы, переходе на новые типы нефталатных пластификаторов как более безопасных для человека, производстве инновационных агрохимикатов, присадок и т.п.

Третье направление создания новых технологий, призванных обеспечить технологическое лидерство, – *производство химических веществ на основе нетрадиционной сырьевой базы*. Среди мировых тенденций следует указать на использование различных видов биосырья [35], полимерных отходов [36], C1 молекул (метан, диоксид углерода) [37–41]. Создание технологий получения традиционных продуктов химии и нефтехимии в этом случае представляет собой отдельную задачу и требует проведения не только прикладных, но также поисковых и фундаментальных исследований.

Что касается федерального проекта по новым материалам, то достижение технологического суверенитета и лидерства возможно на пути построения *единой системы создания материалов*, связывающей фундаментальные исследования – от моделирования на атомно-молекулярном уровне и заканчивая технологией опытного производства – с требованиями заказчика. Такая стратегия применима ко всем закреплённым в национальном проекте группам материалов – полимерным композитам, металлическим и керамическим композиционным материалам. К лидирующим здесь, бесспорно, следует отнести отечественные аддитивные технологии [42]. Производство материалов по известным технологиям во многих случаях не будет представлять труда, но переход от аддитивных технологий первого уровня к третьему, когда сама конструкция будет изготавливаться таким способом, – задача принципиальной важности. На этом пути необходимо решить целый комплекс задач – от подготовки сырья и производства необходимых порошков и филаментов до собственно способов изготовления, постобработки

и развития подходов к контролю за материалом. Следует подчеркнуть, что в этой области само создание материала неразрывно связано с требованием к конструкции и технологии её изготовления, и совместная работа по каждому из направлений становится условием достижения технологического лидерства.

Что касается *выделения редких и рассеянных элементов*, то задача национального проекта и здесь строится на идее освоения технологий – от выделения и разделения металлов до получения готовых товарных форм и изделий с их использованием. Усилия нужно сконцентрировать на разработке новых технологий, которые позволили бы существенно повысить эффективность выделения и разделения элементов как в случае природного сырья, так и при рецикле отходов. Ключевое требование – резкое повышение экономической эффективности технологических процессов. Примером такой технологии может служить экстракционная мобильная установка для выделения лития из рассолов в рамках НЦМУ “Центр рационального использования редкоземельного сырья” (под научным руководством ИФХЭ РАН) [43–46]. Технология отвечает основному требованию достижения технологического лидерства – обеспечивает существенное снижение уровня затрат.

Наконец, принципиально важным для успешной реализации национально проекта “Новые материалы и химия” признано *развитие и внедрение сквозных технологий* [47]. Это прежде всего цифровые технологии и технологии искусственного интеллекта, которые должны резко ускорить моделирование материалов и процессов благодаря новому отечественному программному обеспечению [48–49]. Успешное использование искусственного интеллекта предполагает разработку системы активной генерации и сбора данных, создание роботизированных платформ для проведения экспериментов, развитие собственных моделей анализа и предсказания.

Вторая сквозная технология – это катализ [50–51], который необходим не только для обеспечения суверенитета в наиболее значимых для химии отраслях, но и для существенного расширения ассортимента продуктов, например при производстве полиолефинов. Проекты, которые сейчас реализуются в России, направлены на создание катализаторов для резкого расширения марочного ассортимента полиолефинов и обеспечения ими промышленности. Это один из первых успешных прикладных проектов РФ, который осуществляют МГУ, ИК СО РАН, ИНХС РАН в интересах ПАО “Сибур-холдинг”. Новые катализаторы необходимы и при разработке собственных процессов: это, пожалуй, самая инновационная часть работ – создавать одновременно и процесс, и катализатор. Пример такого подхода – разработка процесса получения высших спиртов с использованием гидроформилирования (ИНХС РАН совместно с рядом научно-исследовательских организаций и промышленными партнёрами).

Для интенсификации процессов *малотоннажной химии и тонкого органического синтеза* принципиальное значение имеет переход к микрореакторным и проточным технологиям и использованию таких источников

энергии, как свет и электричество [52–58]. И в том и в другом случае есть возможность увеличить производительность, сократить число стадий процессов и расход как сырья, так и энергии на единицу продукции. Развитию этого направления необходимо уделять особое внимание, особенно в малотоннажной химии и тонком органическом синтезе. В перспективе следует активизировать исследования по использованию фото- и электрохимии для производства не только малотоннажной, но и средне- и даже крупнотоннажной продукции.

Создание фундаментальных основ и апробация процессов и материалов ещё недостаточны для освоения их в промышленности. Чтобы решить эту задачу (а здесь важная роль принадлежит РАН), нужно создавать *собственные центры инжиниринга и малотоннажные производства* с учётом профиля и компетенций соответствующих организаций. Так, центр малотоннажной химии для микроэлектроники целесообразно организовать при ФИЦ ПХФ и МХ, центр по технологиям замкнутого цикла – при ИОНХ РАН, центр рационального использования природных ресурсов и технологий выделения редких и рассеянных элементов – при ИФХЭ РАН, по масштабированию процессов синтеза катализаторов – при ФИЦ ИК СО РАН, по тонкому органическому синтезу и цифровым технологиям – при ИОХ РАН, по разработке мембранных технологий и интенсификации и моделированию химических процессов – при ИНХС РАН. Уже созданные инжиниринговые центры на базе Химфака МГУ и ФИЦ ИрИХ СО РАН, РХТУ и других организаций также будут способствовать достижению технологического лидерства.

Подводя итог, следует сказать, что для создания фундаментального научного задела, разработки собственных технологий и достижения технологического лидерства усилия организаций, находящихся под научно-методическим руководством РАН, должны быть сосредоточены на:

- создании научных основ новых, существенно более эффективных с экономической и экологической точки зрения (по сравнению с известными) технологий производства известных продуктов/материалов, извлечения редкоземельных и редких элементов;
- развитии реагентной базы, в том числе для критически важных секторов экономики;
- разработке новых материалов с уникальными свойствами и экономически конкурентоспособных технологий их производства (новые композиционные, металлические и полимерные материалы, материалы для химических систем аккумулирования и использования энергии, микроэлектроники, новые адсорбенты и катализаторы, материалы для аддитивных технологий, компоненты новых лекарственных и агрохимических препаратов);
- развитии сквозных химических подходов и технологий, в том числе интенсификации химических процессов, фото- и электрохимии, цифровой химии и искусственного интеллекта, специализированного химического машиностроения;
- организации инжиниринговых центров и центров малотоннажной химии с учётом компетенций институтов и вузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *The competitiveness of the European chemical industry*. Cefic. 2025. <https://cefic.org/app/uploads/2025/05/Cefic-Advancy-study-The-Competitiveness-of-the-European-Chemical-Industry.pdf>
2. *Guide to the Business of Chemistry 2023*. American Chemistry Council's (ACC) Economics and Statistics Department. 2024. <https://www.americanchemistry.com/content/download/14468/file/2023-Guide-to-the-Business-of-Chemistry.pdf>
3. *Тренды и прогнозы 2025: в нефтегазохимическом комплексе на 2025 год и долгосрочную перспективу*. АО “Татнефтехиминвест-холдинг”. 2025. https://www.tnhi.ru/documents/research/Trends_and_forecasts_for_2025_in_the_petrochemical_complex_for_2025_and_beyond. JSC Tatneftekhiminvest-holding. 2025. <https://www.tnhi.ru/documents/research/> (In Russ.)
4. Егоров М.П., Максимов А.Л., Музафаров А.М. и др. Химия в XXI веке: Вызовы и перспективы для России. *Вестник Российской академии наук*. 2022. Т. 92. № 2. С. 103–117. <https://doi.org/10.31857/S0869587322020025>
 Egorov M.P., Maksimov A.L., Muzafarov A.M., et al. Chemistry in the 21st Century: Challenges and Prospects for Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2022, vol. 92, no. 2, pp. 103–117. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869587322020025>
5. Химическое производство: тенденции и прогнозы. Итоги 2024 года. РИА рейтинг. 2025. <https://riarating.ru/images/63027/96/630279674.pdf>
 Chemical Production: Trends and Forecasts. Results for 2024. RIA Rating. 2025. <https://riarating.ru/images/63027/96/630279674.pdf> (In Russ.)
6. Паспорт национального проекта по обеспечению технологического лидерства “Новые материалы и химия” (утв. Министерством промышленности и торговли Российской Федерации) (по состоянию на 19 мая 2025 г.).
 Passport of the national project for ensuring technological leadership “New Materials and Chemistry” (approved by the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation) (as of May 19, 2025). (In Russ.)

7. Развитие рынка химических материалов для микроэлектроники России: проблемы и перспективы. *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2024. № 1. 00232. С. 56–60. <https://doi.org/10.22184/1992-4178.2024.232.1.56.63>
Development of the market for chemical materials for microelectronics in Russia: problems and prospects. *Electronics: science, technology, business*. 2024, no. 1, 00232, pp. 56–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.22184/1992-4178.2024.232.1.56.63>
8. Бадамшина Э.Р., Горнев Е.С. Пути достижения технологической независимости в области материалов для микроэлектроники. *Вестник Российской академии наук*. 2023. Т. 93. № 10. С. 917–922. <https://doi.org/10.31857/S086958732310002X>
Badamshina E.R., Gornev E.S. Ways to achieve technological independence in the field of materials for microelectronics. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2023, vol. 93, no. 10, pp. 917–922. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S086958732310002X>
9. Бабкин А.В., Кубарьков А.В., Стюф Э.А. и др. Особенности получения LiFePO₄ методом осаждения для литий-ионных аккумуляторов. *Известия Академии наук. Серия химическая*. 2024. Т. 73. № 1. С. 14–32. <https://doi.org/10.31857/S2686953524030024>
Babkin A.V., Kubarkov A.V., Styuf E.A., et al. Features of LiFePO₄ production by the precipitation method for lithium-ion batteries. *Bulletin of the Academy of Sciences. Chemical Series*. 2024, vol. 73, no. 1, pp. 14–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2686953524030024>
10. Abramova E.N., Bobyleva Z.V., Drozhzhin O.A., Abakumov A.M., Antipov E.V. Hard carbon as anode material for metal-ion batteries. *Russian Chemical Reviews*. 2024, vol. 93, no. 2, RCR5100. <https://doi.org/10.59761/RCR5100>
11. Цивадзе А.Ю., Кулова Т.Л., Скундин А.М. Фундаментальные проблемы литий-ионных аккумуляторов. *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2013. № 2. С. 149. <https://doi.org/10.7868/S0044185613020083>
Tsvadze A.Yu., Kulova T.L., Skundin A.M. Fundamental problems of lithium-ion batteries. *Physical chemistry of surfaces and protection of materials*. 2013, no. 2, p. 149. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0044185613020083>
12. Yaroslavtsev A.B., Kulova T.L., Skundin A.M. Electrode nanomaterials for lithium-ion batteries. *Russian Chemical Reviews*. 2015, vol. 84, no. 8, pp. 826–852. <https://doi.org/10.1070/RCR4497>
13. Yao A., Benson S.M., Chueh W.C. Critically assessing sodium-ion technology roadmaps and scenarios for technoeconomic competitiveness against lithium-ion batteries. *Nature Energy*. 2025, vol. 10, pp. 404–416. <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01701-9>
14. Phogat P., Dey S., Wan M. Comprehensive review of sodium-ion batteries: principles, materials, performance, challenges, and future perspectives. *Materials Science and Engineering: B*. 2025, vol. 312, 117870. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2024.117870>
15. Janek J., Zeier W.G. Challenges in speeding up solid-state battery development. *Nature Energy*. 2023, vol. 8, pp. 230–240. <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01208-9>
16. Joshi A., Mishra D.K., Singh R., Zhang J., Ding Y. A comprehensive review of solid-state batteries. *Applied Energy*. 2025, vol. 386, 125546. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125546>
17. Kulova T.L., Fateev V.N., Seregina E.A., Grigoriev A.S. A brief review of post-lithium-ion batteries. *International Journal of Electrochemical Science*. 2020, vol. 15, no. 8, pp. 7242–7259. <https://doi.org/10.20964/2020.08.22>
18. Voropaeva D.Yu., Novikova S.A., Yaroslavtsev A.B. Polymer electrolytes for metal-ion batteries. *Russian Chemical Reviews*. 2020, vol. 89, no. 10, pp. 1132–1155. <https://doi.org/10.1070/RCR4956>
19. Kapil N., Coppens M.-O. Advances in the hydroperoxidation of propylene to propylene oxide (HOPO): from nanoscale to mesoscale and macroscale. *Chemistry – A European Journal*. 2025, vol. 31, no. 57, e01205. <https://doi.org/10.1002/chem.202501205>
20. Russo V., Tesser R., Santacesaria E., Di Serio M. Chemical and technical aspects of propene oxide production via hydrogen peroxide (HPPO process). *Industrial Engineering Chemistry Research*. 2013, vol. 52, no. 3, pp. 1168–1178. <https://doi.org/10.1021/ie3023862>
21. Peng J.-B., Geng H.-Q., Wu X.-F. The chemistry of CO: Carbonylation. *Chemistry*. 2019, vol. 5, no. 3, pp. 526–552. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2018.11.006>
22. Árvai C., Mika L.T. Recent advances in catalytic carbonylation reactions in alternative reaction media. *Chinese Journal of Chemistry*. 2023, vol. 42, no. 4, pp. 406–429. <https://doi.org/10.1002/cjoc.202300490>
23. Nenasheva M.V., Karakhanov E.A., Maximov A.L., Gorbunov D.N. Hydroformylation of specific substrates as a perspective route to monomers and valuable bifunctional compounds. *Coordination Chemistry Reviews*. 2025, vol. 545, 216990. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2025.216990>
24. Nenasheva M.V., Gorbunov D.N. Recent progress and strategies on the design of zeolite-based catalysts for hydroformylation of olefins. *Catalysts*. 2024, vol. 14, no. 12, p. 942. <https://doi.org/10.3390/catal14120942>

25. Кирилин А.Д., Белова Л.О., Симонов-Емельянов И.Д. О некоторых этапах развития химии азотсодержащих кремнийорганических соединений в России и её роли при создании новых продуктов и материалов. *Пластические массы*. 2025. Т. 4. С. 35–39. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2025-04-35-39>
 Kirilin A.D., Belova L.O., Simonov-Emelyanov I.D. On some stages of development of the chemistry of nitrogen-containing organosilicon compounds in Russia and its role in the creation of new products and materials. *Plastics*. 2025, vol. 4, pp. 35–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2025-04-35-39>
26. Guo Zh., Ding X., Wang Y. How to get isocyanate? *ACS Omega*. 2024, vol. 9, no. 10, pp. 11168–11180. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c10069>
27. Vargas J.A.M., Mandrekar K.S., Echemendía R., Burtoloso A.C.B. Innovations in isocyanate synthesis for a sustainable future. *Organic and Biomolecular Chemistry*. 2025, vol. 23, pp. 487–505. <https://doi.org/10.1039/D4OB01598C>
28. Третьякова Н., Колычев Е., Сулимов А., Овчинников К. Ключевые технологии синтеза изоцианатов без применения фосгена. *Каучук и резина*. 2023. Т. 82. № 6. С. 304–309.
 Tretyakova N., Kolychev E., Sulimov A., Ovchinnikov K. Key technologies for the synthesis of isocyanates without the use of phosgene. *Rubber and Resin*. 2023, vol. 82, no. 6, pp. 304–309. (In Russ.)
29. Muzafarov A.M., Bystrova A.V., Vasilenko N.G., Ignat'eva G.M. New approaches in silicon production and recycling for sustainable future. *Russian Chemical Reviews*. 2013, vol. 82, no. 7, pp. 635–647. <https://doi.org/10.1070/RC2013v082n07ABEH004406>
30. Пономарёв-Степной Н.Н. Водородная энергетика – одно из стратегических направлений технологического развития России. *Вестник Атомпрома*. 2023. Т. 7. С. 6–14.
 Ponomarev-Stepnoy N.N. Hydrogen energy is one of the strategic directions of technological development of Russia. *Atomprom Bulletin*. 2023, vol. 7, pp. 6–14. (In Russ.)
31. Centi G., Perathoner S. Status and gaps toward fossil-free sustainable chemical production. *Green Chemistry*. 2022, vol. 24, pp. 7305–7331. <https://doi.org/10.1039/D2GC01572B>
32. Kuznetsov P.S., Dement'ev K.I., Palankoev T.A., Maximov A.L. Direct electric heating in chemical processes (A review). *Petroleum Chemistry*. 2024, vol. 64, pp. 633–647. <https://doi.org/10.1134/S0965544124040030>
33. Liu G., Zhang H., Kang J., Guo L. Electrocatalytic materials engineering: Towards the renaissance of electrochemical organic synthesis. *Materials Today*. 2025, vol. 87, pp. 422–441. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2025.05.012>
34. Zlotin S.G., Egorova K.S., Ananikov V.P., et al. The green chemistry paradigm in modern organic synthesis. *Russian Chemical Reviews*. 2023, vol. 92, no. 12, RCR5104. <https://doi.org/10.59761/RCR5104>
35. Дементьева О.С., Арапова О.В., Наранов Е.Р. Современные достижения в области каталитической переработки лигнинсодержащей биомассы в ценные химические продукты (обзор). *Нефтехимия*. 2024. Т. 64. № 2. С. 99–125. <https://doi.org/10.31857/S0028242124020015>
 Dementeva O.S., Arapova O.V., Naranov E.R. Modern achievements in the field of catalytic processing of lignin-containing biomass into valuable chemical products (review). *Petrochemistry*. 2024, vol. 64, no. 2, pp. 99–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0028242124020015>
36. Gringolts M.L., Dement'ev K.I., Kadiev K.M., et al. Chemical conversion of polymer wastes into motor fuels and petrochemical raw materials (A review). *Petroleum Chemistry*. 2020, vol. 60, pp. 751–761. <https://doi.org/10.1134/S0965544120070051>
37. Kolesnichenko N.V., Ezhova N.N., Snatenkova Yu.M. Lower olefins from methane: recent advances. *Russian Chemical Reviews*. 2020, vol. 89, no. 2, pp. 191–224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1070/RCR4900>
38. Maximov A.L., Beletskaya I.P. Carbon dioxide and “methanol” economy: advances in the catalytic synthesis of methanol from CO₂. *Russian Chemical Reviews*. 2024, vol. 93, no. 1, RCR5101. <https://doi.org/10.59761/RCR5101>
39. Kuznetsov N.Y., Maximov A.L., Beletskaya I.P. Synthesis of acrylic acid and acrylates from CO₂ and ethylene – the thorny path from dream to reality. *Russian Chemical Reviews*. 2024, vol. 93, no. 9, RCR5147. <https://doi.org/10.59761/RCR5147>
40. Kuznetsov N.Y., Beletskaya I.P. Application of CO₂ as a C₁-synthon in organic chemistry: II. Catalytic synthesis of cyclic carbonates (carbamates) from CO₂ and epoxides (aziridines). *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2023, vol. 59, pp. 1261–1297. <https://doi.org/10.1134/S1070428021080018>
41. Kuznetsov N.Y., Maximov A.L., Beletskaya I.P. Novel technological paradigm of the application of carbon dioxide as a C₁ synthon in organic chemistry: I. Synthesis of hydroxybenzoic acids, methanol, and formic acid. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2022, vol. 58, pp. 1681–1711. <https://doi.org/10.1134/S1070428022120016>
42. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки. *Вестник Российской академии наук*. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334. <https://doi.org/10.31857/S0869587320040052>

- Kablov E.N. New generation materials and digital technologies for their processing. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869587320040052>
43. Цивадзе А.Ю., Орыщенко А.С., Жилов В.И. и др. Современные подходы к переработке отработавших литий-ионных аккумуляторов. *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2024. Т. 60. № 5. С. 540–550. <https://doi.org/10.31857/S0044185624050118>
Tsivadze A.Yu., Oryshchenko A.S., Zhilov V.I., et al. Modern approaches to recycling of spent lithium-ion batteries. *Surface Physicochemistry and Material Protection*. 2024, vol. 60, no. 5, pp. 540–550. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0044185624050118>
44. Бездомников А.А., Костикова Г.В., Баулин Д.В. и др. Способ селективного экстракционного извлечения лития из водного щелочного раствора, содержащего хлориды лития, натрия, калия и гидроксид натрия. RU2784157C1.
Bezdomnikov A.A., Kostikova G.V., Baulin D.V. et al. Method for selective extraction of lithium from an aqueous alkaline solution containing lithium, sodium, potassium chlorides and sodium hydroxide. RU2784157C1. (In Russ.)
45. Цивадзе А.Ю., Баулин В.Е., Костикова Г.В., Бездомников А.А. Селективное извлечение лития из минерального, гидроминерального и вторичного сырья. *Вестник РАН*. 2023. Т. 93. № 7. С. 623–630. <https://doi.org/10.31857/S086958732307010>
Tsivadze A.Yu., Baulin V.E., Kostikova G.V., Bezdomnikov A.A. Selective extraction of lithium from mineral, hydromineral, and secondary raw materials. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2023, vol. 93, no. 7, pp. 623–630. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S086958732307010>
46. Костянян А.Е., Лобович Д.В., Вошкин А.А. Анализ процессов разделения редкоземельных элементов в каскаде смесительно-отстойных экстракторов методами жидкостно-жидкостной хроматографии. *Теоретические основы химической технологии*. 2024. Т. 58. № 5. С. 533–546. <https://doi.org/10.31857/S0040357124050015>
Kostanyan A.E., Lobovich D.V., Voshkin A.A. Analysis of the processes of separation of rare earth elements in a cascade of mixing-sedimentation extractors by liquid-liquid chromatography methods. *Theoretical Foundations of Chemical Technology*. 2024, vol. 58, no. 5, pp. 533–546. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0040357124050015>
47. Анаников В.П., Белецкая И.П., Максимов А.Л. и др. Микротоннажная и малотоннажная химия. *Химический эксперт*. 2024. Т. 4. № 12. С. 24–31. <http://zioc.ru/preprint.012024v1>
Ananikov V.P., Beletskaya I.P., Maksimov A.L., et al. Microtonnage and low-tonnage chemistry. *Chemical expert*. 2024, vol. 4, no. 12, pp. 24–31. (In Russ.) <http://zioc.ru/preprint.012024v1>
48. Ananikov V.P. Top 20 influential ai-based technologies in chemistry. *Artificial Intelligence Chemistry*. 2024, vol. 2, no. 2, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.aichem.2024.100075>
49. Анаников В.П. Цифровые технологии в химии и материаловедении. *Вестник Российской академии наук*. 2025. № 4. С. 35–38. <https://doi.org/10.7868/S3034520025040079>
Ananikov V.P. Digital technologies in chemistry and materials science. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2025, no. 4, pp. 35–38. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520025040079>
50. Diallo I., Thiam A., Diop B., et al. Brief review on the evolution of catalysis in chemistry. *American Journal of Chemistry*. May 2025, pp. 25–42. <https://doi.org/10.5923/j.chemistry.20251502.01>
51. Melián-Cabrera I. Catalytic materials: concepts to understand the pathway to implementation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2021, vol. 60, no. 51, pp. 18545–18559. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c02681>
52. Badsara S.S., Kusum U., Amreen Ch., Asha G. Electrochemical synthesis: an alliance of electrochemistry and organic synthesis for value-added moieties. *Chemical Record*. 2025, vol. 12, e2500092. <https://doi.org/10.1002/tcr.202500092>
53. Regnier M., Vega C., Ioannou D.I., Noël T. Enhancing electrochemical reactions in organic synthesis: the impact of flow chemistry. *Chemical Society Reviews*. 2024, vol. 53, no. 21, pp. 10741–10760. <https://doi.org/10.1039/d4cs00539b>
54. Kharlamova A.D., Averin A.D., Bondarenko G.N., et al. Visible light photoredox-catalyzed three-component reaction of styrenes with malonic esters and CO₂. *Advanced Synthesis and Catalysis*. 2025, vol. 367, e202400956. <https://doi.org/10.1002/adsc.202400956>
55. Baraldi P.T., Hessel V. Micro reactor and flow chemistry for industrial applications in drug discovery and development. *Green Processing and Synthesis*. 2012, vol. 1, no. 2, pp. 149–167. <https://doi.org/10.1515/gps-2012-0008>
56. Zheng L. Advances and application of microreactor technology in fine chemistry. *Applied and Computational Engineering*. 2025, vol. 205, pp. 241–248. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2026.MH30388>
57. Yang Y., Qian J., Fang G. Research progress on the process analysis technology for microreactors. *Microchemical Journal*. 2025, vol. 212, 113373. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113373>
58. Anderson N.G. Using continuous processes to increase production. *Organic Process Research & Development*. 2012, vol. 16, no. 5, pp. 852–869. <https://doi.org/10.1021/op200347k>

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040081

Оригинальная статья

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА
В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ –
ВИП ГЗ “ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ”

С.К. Гулёв^{1,*}, А.С. Грицун², В.М. Катцов³, Н.В. Лукина⁴,
Б.Н. Порфирьев⁵, А.А. Романовская⁶, А.А. Широ́в⁵

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Российская Федерация

²Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН,
Москва, Российская Федерация

³Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова Росгидромета,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева РАН,
Москва, Российская Федерация

⁵Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Российская Федерация

⁶Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Росгидромет,
Москва, Российская Федерация

*E-mail: gul@sail.msk.ru

Аннотация. Рассмотрены механизмы и основные характеристики наблюдаемых климатических изменений на Земле и на территории России за последние 170 лет. Сформулирован вывод о необходимости комплексного подхода к анализу и прогнозу климатических изменений, а также к оценке их влияния на экономику и общество. Такой подход был реализован в рамках начатого в 2022 г. Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) “Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ” на 2022–2030 гг. Реализация ВИП ГЗ в 2022–2024 гг. позволила построить ряд ключевых элементов системы мониторинга климатических изменений на суше, в ключевых районах океана и морях России, а также баланса углерода в наземных и морских экосистемах. Для прогнозирования климатических изменений была создана новая версия национальной климатической модели. Существенно обновлён Кадастр антропогенных выбросов парниковых газов и их абсорбции поглотителями – главный документ международной отчётности страны в области климата.

Ключевые слова: изменения климата, парниковые газы, моделирование, прогноз, комплексный проект, системы мониторинга, национальная модель, кадастр, экономические оценки

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Важнейшего инновационного проекта государственного значения “Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ”, утверждённого Распоряжением Правительства РФ № 3240-р от 29.10.2022 г. Исследования С.К. Гулёва финансировались в рамках проекта Минобрнауки РФ FMWE-2024-0017, А.С. Грицуна – в рамках Соглашений о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий между Росгидрометом и ФБГУН ИВМ РАН от 1 марта 2023 г. № 169-15-2023-003 и Минобрнаукой России и ФБГУН ИВМ РАН от 15/07/2024 № 075-03-2024-624/3, Н.В. Лукиной – в рамках реализации проекта “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода

в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6), А.А. Романовской – в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса РФ между Минэкономразвития России и ФГБУ “ИГКЭ” от 1 марта 2023 г. № 139-15-2023-004 и темы Научно-исследовательских и технических работ Росгидромета № 3.3, Б.Н. Порфирьева и А.А. Широва – в рамках Соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса РФ между Минэкономразвития России и ФБГУН “ИНП РАН” от 1 марта 2023 г. № 139-15-2023-003 и дополнительного соглашения от 27 апреля 2024 г. № 139-15-2023-003/2.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. С.К. Гулёв – концептуальная компоновка статьи, написание раздела о климатических изменениях и их механизмах, описание работ по мониторингу процессов в океане и морях, редактирование статьи; А.С. Грицун – описание работ по моделированию и прогнозированию климата; В.М. Катцов – описание работ по мониторингу, моделированию и прогнозированию климатических процессов на суше; Н.В. Лукина – описание работ по мониторингу углерода в экосистемах; Б.Н. Порфирьев – описание работ по оценкам влияния климата на экономику, редактирование статьи; А.А. Романовская – описание работ по переработке Кадастра выбросов; А.А. Широков – описание работ по оценкам влияния климата на экономику.

Благодарности. Авторы признательны многочисленным соисполнителям из различных институтов России за их вклад в реализацию ВИП ГЗ на первом этапе.

Ссылка для цитирования: Гулёв С.К., Грицун А.С., Катцов В.М., Лукина Н.В., Порфирьев Б.Н., Романовская А.А., Широков А.А. Мониторинг и прогнозирование изменений климата в целях устойчивого развития России – ВИП ГЗ “Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ”. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 369–384. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040081>

Поступила в редакцию 03.03.2026

После доработки 03.03.2026

Принята к публикации 10.03.2026

ГУЛЁВ Сергей Константинович – академик РАН, руководитель лаборатории взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений ИО РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: gul@sail.msk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4296-5121>. ГРИЦУН Андрей Сергеевич – профессор РАН, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ИВМ РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: asgrit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1595-1787>. КАТЦОВ Владимир Михайлович – доктор физико-математических наук, директор Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: kattsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9108-3670>. ЛУКИНА Наталья Васильевна – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, Москва, Российская Федерация, e-mail: nvl07@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6880-1416>. ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич – академик РАН, научный руководитель ИНП РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: b_porfiriev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257>. РОМАНОВСКАЯ Анна Анатольевна – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, Москва, Российская Федерация, e-mail: an_roman@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8943-170X>. ШИРОВ Александр Александрович – член-корреспондент РАН, директор ИНП РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: schir@ecfor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040081

Original Article

MONITORING AND FORECASTING CLIMATE CHANGE
FOR THE GOALS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RUSSIA –
A CRITICAL INNOVATIVE PROJECT OF THE NATIONAL SIGNIFICANCE
“UNIFIED NATIONAL SYSTEM FOR MONITORING
CLIMATE-ACTIVE SUBSTANCES”

S.K. Gulev^{1,*}, A.S. Gritsun², V.M. Kattsov³, N.V. Lukina⁴,
B.N. Porfiriev⁵, A.A. Romanovskaya⁶, A.A. Shirov⁵

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation*

²*Marchuk Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation*

³*The Voeikov Main Geophysical Observatory, Roshydromet,
St. Petersburg, Russian Federation*

⁴*Isaev Centre for Forest Ecology and Productivity, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation*

⁵*The Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation*

⁶*Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Roshydromet,
Moscow, Russian Federation*

**E-mail: gul@sail.msk.ru*

Abstract. This article examines the mechanisms and main characteristics of observed climate change on Earth and in Russia over the past 170 years. A conclusion is drawn regarding the need for an integrated approach to analyzing and forecasting climate change, as well as assessing its impact on the economy and society. This approach was implemented within the framework of the Major Innovative Project of National Significance (MIP NS), “Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances” for 2022–2030, which was launched in 2022. Implementation of the MIP NS in 2022–2024 made it possible to construct a number of key elements of a system for monitoring climate change on land, in key areas of the ocean, and in the seas of Russia, as well as the carbon balance in terrestrial and marine ecosystems. A new version of the national climate model was created to predict climate change. The Inventory of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions By Sources and Removals by Sinks, the country's main international climate reporting document, was significantly updated.

Keywords: climate change, greenhouse gases, modeling, forecast, integrated project, monitoring systems, national model, cadastre, economic assessments

Funding. This work was supported by the Key Innovative Project of National Significance “Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances”, approved by RF Government Order No. 3240-r dated October 29, 2022. S.K. Gulev's research was funded by the RF Ministry of Education and Science project FMWE-2024-0017, A.S. Gritsun's research was funded within the framework of the Agreements on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies between Roshydromet and the Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences dated March 1, 2023 No. 169-15-2023-003 and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and the Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences dated July 15, 2024 No. 075-03-2024-624/3, N.V. Lukina – within the framework of the implementation of the project

“Development of a system for ground-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas flows in the territory of the Russian Federation, ensuring the creation of a system for accounting for data on flows of climate-active substances and the carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems” (reg. No. 123030300031-6), A.A. Romanovskaya’s research was funded by the agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with paragraph 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation between the Ministry of Economic Development of Russia and the Federal State Budgetary Institution “IGKE” dated March 1, 2023, No. 139-15-2023-004, and Roshydromet Research and Technical Work Topic No. 3.3, B.N. Porfiriev’s and A.A. Shirov’s research was funded by the agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with paragraph 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation between the Ministry of Economic Development of Russia and the Federal State Budgetary Institution “INP RAS” dated March 1, 2023, No. 139-15-2023-003, and Additional Agreement dated April 27, 2023 No. 139-15-2023-003/2.

Conflict of Interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. S.K. Gulev – conceptualization, writing the section on climate change and its mechanisms, description of work on monitoring processes in the ocean and seas, editing the article, A.S. Gritsun – description of work on climate modeling and forecasting, V.M. Kattsov – description of work on monitoring, modeling and projecting terrestrial climate processes, N.V. Lukina – description of work on monitoring carbon in ecosystems, B.N. Porfiriev – description of work on assessing the impact of climate on the economy, editing the article, A.A. Romanovskaya – description of work on processing the GHG Inventory, A.A. Shirov – description of work on assessing the impact of climate on the economy.

Acknowledgments. The authors are grateful to numerous co-authors from various Russian institutes for their contributions to the implementation of the VIP GP during the first stage.

For Citation: Gulev S.K., Gritsun A.S., Kattsov V.M., Lukina N.V., Porfiriev B.N., Romanovskaya A.A., Shirov A.A. Monitoring and forecasting climate change for the goals of sustainable development of Russia – a critical innovative project of the national significance “Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances”. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 369–384. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040081>

Received March 03, 2026

Revised March 03, 2026

Accepted March 10, 2026

GULEV Sergey K. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Ocean-Atmosphere Interaction and Climate Change Monitoring, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: gul@sail.msk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4296-5121>. GRITSUN Andrey S. – Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: asgrit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1595-1787>. KATTSOV Vladimir M. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director of the A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory of Roshydromet, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: kattsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9108-3670>. LUKINA Natalia V. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: nvl07@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6880-1416>. PORFIRIEV Boris N. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: b_porfiriev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257>. ROMANOVSKAYA Anna A. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: an_roman@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8943-170X>. SHIROV Alexander A. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: schir@ecfor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777>.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Изменения климата за последние 150–170 лет (так называемый постиндустриальный период) характеризуются ростом средних глобальных температур, который составляет более 1.2°C по отношению к 1860 г. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) установила, что минувший 2025 г. стал одним из трёх самых тёплых за всю историю наблюдений (наряду с 2023 и рекордным 2024 г.). Согласно проведённому ВМО анализу восьми наборов данных, средняя глобальная приземная температура была на 1.44°C (с предельной неопределённостью $\pm 0.13^\circ\text{C}$) выше среднего показателя за 1850–1900 гг. Последние 11 лет стали самыми тёплыми за всю историю наблюдений [1, 2]. Рисунок 1 свидетельствует, что оценки изменений аномалий приземной температуры, полученные по разным данным, с высокой точностью согласуются друг с другом.

Повышение средней глобальной температуры происходит неравномерно по поверхности Земли. В высоких широтах северного полушария оно более чем в 2 раза превышает тренды средней глобальной температуры [3]. Важная особенность потепления за последние 150–170 лет – ускорение роста температур после 1970 г. Так, величины линейных трендов температуры за 1980–2020 гг. превышают тренды за период 1900–1980 гг. в 1.5–4 раза в зависимости от региона [3]. Следствиями глобального потепления стали повышение уровня моря (более 3.2 мм в год за период высокоточных спутниковых наблюдений, то есть с 1992 г.) и существенное сокращение площади ледового покрова (с 1980 г. для сентябрьских значений более 3.1 млн км², или около 40% летней площади льда в Арктике) [3, 4].

Изменения климата на территории России характеризуются более быстрым ростом температуры,

составляющим более 0.5 градуса в десятилетие, начиная с 1976 г. [5]. При этом в субполярных и в субарктических районах тренды температуры могут более чем в 2 раза превышать средние по территории России (рис. 2), отражая тенденцию более сильного потепления в высоких широтах.

Более 60% территории России находится в зоне многолетней мерзлоты, эти области характеризуются существенным усилением сезонного протаивания слоя мёрзлых грунтов. Глобальное уменьшение количества морских льдов сказывается в первую очередь на наших арктических морях, что открывает перспективы использования Северного морского пути. Важно отметить, что на всей территории России происходит увеличение количества и интенсивности экстремальных метеорологических явлений. Иначе говоря, с изменениями климата меняются не только средние значения, но (что, вероятно, даже важнее) и вероятностные функции распределения.

Основная причина наблюдаемого глобального потепления за последние 150–170 лет – увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере. Концентрация парниковых газов достигла нового максимума в 2025 г., что обусловлено антропогенными выбросами от сжигания ископаемого топлива, земледелия и сельского хозяйства. Три парниковых газа – двуокись углерода (CO₂), метан (CH₄) и закись азота (N₂O) – ответственны за основную часть дисбаланса между входящей коротковолновой и уходящей длинноволновой радиацией на верхней границе атмосферы. При этом CO₂ является самым значительным фактором, на долю его радиационного эквивалента приходится примерно 42% роста глобальной температуры поверхности Земли с доиндустриальной эпохи (1850–1900), на метан – 28%, а на закись азота – около 5%. Оставшиеся 25% обусловлены другими факторами, включая оксид углерода, сажу и галоуглероды, такие как хлорфторуглероды (ХФУ).

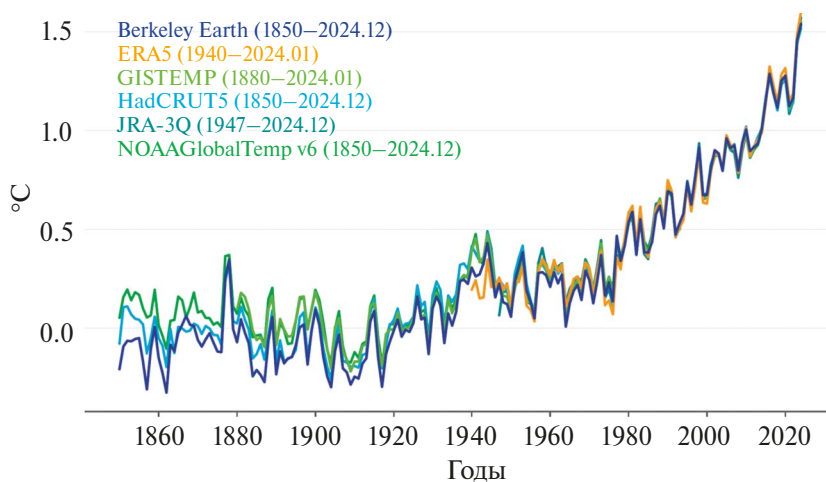


Рис. 1. Изменения аномалии средней глобальной приземной температуры с 1850 по 2024 г. по отношению к доиндустриальному периоду (1850–1900) по различным массивам данных [2]

Fig. 1. Changes in the global mean surface temperature anomaly from 1850 to 2024 relative to the pre-industrial period (1850–1900) based on different data sets [2]

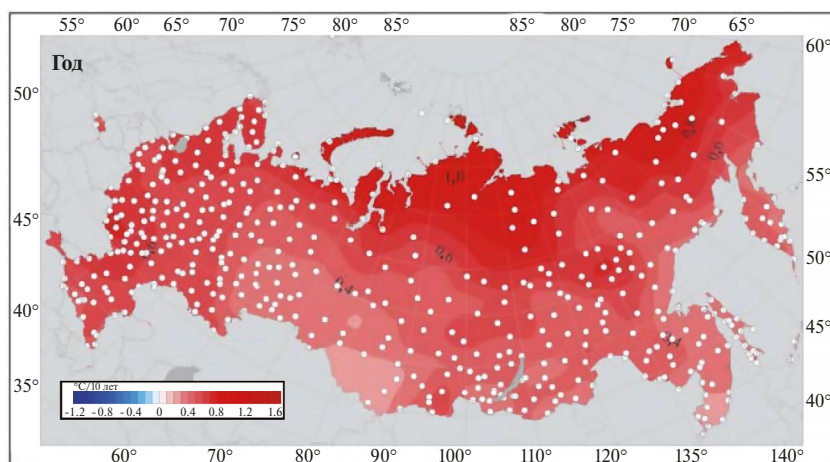


Рис. 2. Географическое распределение коэффициентов линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) среднегодовой приземной температуры воздуха на территории России за 1976–2020 гг.

Оценки трендов рассчитаны в точках расположения станций. Белыми кружками показано местоположение станций, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне [5]

Fig. 2. Geographic distribution of linear trend coefficients ($^{\circ}\text{C}/10$ years) for average annual surface air temperature in Russia for 1976–2020

Trend estimates are calculated at station locations. White circles indicate the locations of stations for which the trend is statistically significant at the 1% level [5]

Согласно ежегодному анализу Лаборатории глобального мониторинга NOAA [6], средняя глобальная концентрация углекислого газа в атмосфере в 2024 г. составила 422.8 ± 0.1311 частей на миллион (ppm), что является новым рекордным показателем. Увеличение за 2024 г. достигло 3.75 ppm — это самый большой однолетний прирост за всю историю наблюдений. В обсерватории Мауна-Лоа на Гавайях, где статистика по углекислому газу ведётся с 1958 г., среднегодовая концентрация углекислого газа в 2024 г. составила 424.61 ppm (также новый рекорд).

Формирующийся за счёт парниковых газов дисбаланс приходящей коротковолновой радиации и уходящей длинноволновой радиации на верхней границе атмосферы приводит к накоплению тепла в земной климатической системе. Примерно 92% этого постоянно накапливающегося дополнительного тепла поглощает океан и лишь 8% усваивают атмосфера, суша и ледники. То есть океан как наиболее консервативный компонент земной климатической системы — это главный поглотитель тепла, причём его теплосодержание растёт даже в те периоды, когда атмосфера не обнаруживает существенного роста глобальных температур [3]. Уникальная роль Мирового океана в земной климатической системе породила мем “глобальное потепление — это потепление океана” (global warming is the ocean warming).

Однако не только в этом заключается роль океана в климатических изменениях. Океан, как любая нелинейная динамическая система, порождает свои собственные моды изменчивости. Некоторые из них имеют масштабы в несколько лет, например Эль-Ниньо. Но для долгопериодных изменений климата наиболее важны собственные моды с масштабами в несколько

десятилетий. Таким колебанием, в частности, является атлантическая мультидекадная осцилляция (АМО), имеющая характерные масштабы 50–70 лет [7, 8]. Глобальный рост концентраций парниковых газов приводит к росту температур на Земле, который характеризуется трендовыми изменениями. В то же время собственная изменчивость накладывается на долгопериодные антропогенные тренды и существенно затрудняет прогнозирование климата на период 20–30 лет (то есть на самом важном для экономики временном горизонте), в течение которого антропогенный сигнал остаётся относительно слабым и магнитуда собственных колебаний сопоставима с эффектом антропогенного потепления.

Кроме того, роль океана в изменениях климата состоит в том, что он является сильнейшим поглотителем климатически активных газов, в первую очередь CO_2 . По объёмам поглощения углекислого газа океан примерно равен экосистемам суши. Однако за определением “сильнейший” кроется очень маленькая разница двух больших величин — эмиссии CO_2 в тропиках и поглощения в субполярных и средних широтах. По оценкам Friedlingstein et al. (2025), поглощение в объёме примерно 79.5 PgC превышает эмиссию (77.6 PgC) на 1.9 PgC. С потеплением климата и расширением тропиков эта относительно небольшая разница может уменьшаться и приводить к очень большим неопределённостям в интегральных оценках потоков CO_2 . Кроме того, усиливающаяся с потеплением штормовая активность в средних широтах также приводит к дополнительной эмиссии CO_2 за счёт эффекта обрушения волн.

С учётом всего сказанного прогнозирование климата представляет собой сложную физическую задачу. В последние десятилетия был достигнут существенный

прогресс в этой области [9, 10]. Сегодня в мире существует более 100 моделей Земной системы различной сложности, используемых для сценарного прогнозирования климата. Многие из этих моделей являются взаимозависимыми в том смысле, что различные конфигурации используют комбинации существующих модельных блоков для атмосферы, океана, процессов на суше и ледниковых щитов. Построение сценарных прогнозов климата упрощённо можно изложить следующим образом: модель земной системы представлена системой уравнений, описывающих динамику процессов во всех средах; интегрирование этой системы уравнений производится численно сначала в режиме инициализации для условий доиндустриального периода, затем выполняется интегрирование с доиндустриальной эпохи до современных условий (скажем, последние 20–30 лет) и проводится анализ того, насколько модельное решение позволяет воспроизвести наблюдаемый климат.

На рисунке 3 показаны наблюдаемые изменения глобальной температуры поверхности за последние 170 лет относительно периода 1850–1900 гг. в сравнении с результатами моделирования климатических процессов в рамках проекта сравнения связанных моделей CMIP6 6-го оценочного доклада МГЭИК [11]. Как видим, несмотря на достаточно большой разброс модельных решений, без учёта антропогенного фактора (увеличение концентраций парниковых газов)

модели не способны адекватно воспроизвести современный климат, что следует рассматривать в качестве ещё одного доказательства роли антропогенной деятельности в глобальном потеплении.

Если модельное решение адекватно воспроизводит наблюдаемый климат, интегрирование можно продолжать на периоды в несколько десятилетий или столетий для получения прогностических оценок климатических изменений. Для этого надо знать перспективные концентрации климатически активных веществ, которые определяются через оценки динамики их выбросов, обусловленных соответствующими сценариями (трендами) социально-экономического развития (*shared socioeconomic pathways, SSP*) [11]. Подобные сценарные оценки разрабатываются экономистами с большой неопределённостью, поэтому при прогнозировании климата используется несколько сценариев в диапазоне от “business as usual” (инерционный сценарий) до резкого сокращения уровня выбросов (вплоть до нуля) примерно к 2060 г. При использовании таких сценариев неопределённости интегрирования моделей накладываются на неопределённости самих сценариев, поэтому результатом становятся очень широкие диапазоны оценок изменений климата на период конца XXI столетия. Так, изменения средней глобальной температуры к концу XXI в. оцениваются от 1.5 до 6 градусов, а повышение уровня океана – от 30 см до метра и более [11].

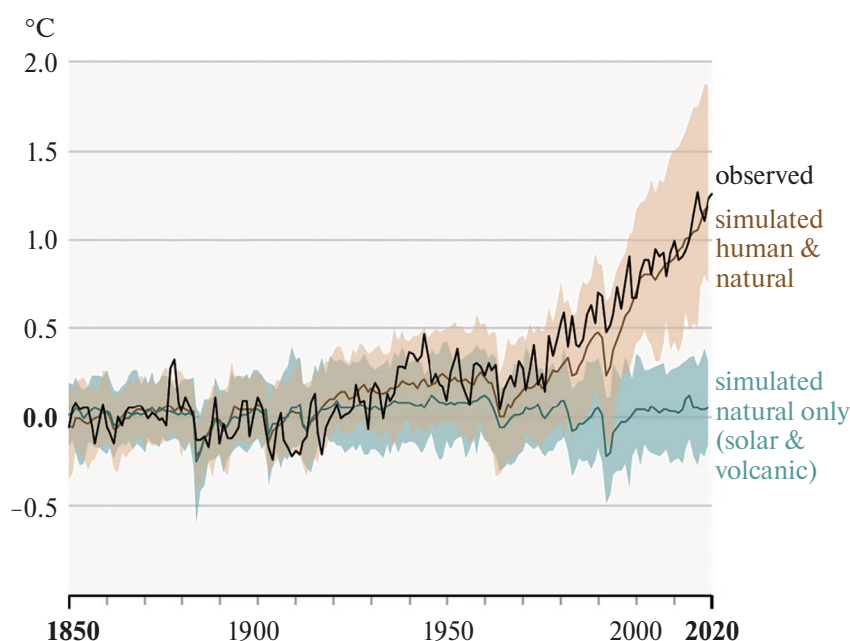


Рис. 3. Наблюдаемые изменения глобальной температуры поверхности за последние 170 лет (чёрная линия) относительно периода 1850–1900 гг. в сравнении с результатами моделирования климатических процессов в рамках проекта сравнения связанных моделей CMIP6, которые отражают температурный отклик на антропогенные и природные факторы (коричневый цвет) и только на природные факторы (солнечная и вулканическая активность, зелёный цвет). Сплошные цветные линии – среднее значение по ансамблю климатических моделей, цветом показан разброс результатов моделирования [11]

Fig. 3. Observed global surface temperature changes over the past 170 years (black line) relative to the period 1850–1900, compared with the results of the CMIP6 climate model intercomparison project, which show the temperature response to anthropogenic and natural factors (brown) and to natural factors only (solar and volcanic activity, green). Solid colored lines show the mean value for the ensemble of climate models, and the color shows the scatter of the model results [11]

Согласно некоторым сценариям, после 2050 г. в отдельные годы Арктика летом будет полностью свободна ото льда. Однако это не значит, что после 2050 г. Арктика постоянно будет свободна от льда летом: такое состояние возможно в течение коротких периодов (1–2 года), перемежаемых периодами повышенной ледовитости.

ВАЖНЕЙШИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ “ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ”

Описанные тенденции свидетельствуют, что для России наблюдаемые изменения климата и перспективы их прогнозирования — научный и практический вызов первостепенной значимости. В ответ на него руководство страны инициировало Важнейший инновационный проект государственного значения “Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ” (далее — ВИП ГЗ). Его реализация — высокоприоритетная задача в области изучения климата и выработки адекватной позиции по практически всем вопросам климатической повестки, планирования адаптационных мер и стратегического планирования экономического развития страны в условиях климатических изменений. ВИП ГЗ выполняется в соответствии с поручением Президента РФ о создании указанной национальной системы и Распоряжением Правительства РФ № 3240-р от 29 октября 2022 г., а также указом Президента РФ от 07.05.2024 № 309 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года”, в котором создание национальной системы мониторинга климатически активных веществ определено в качестве задачи на период до 2030 г. (пункт бз Указа № 309).

Миссия ВИП ГЗ состоит в разработке и совершенствовании отечественных инфраструктуры и техноло-

гий мониторинга и моделирования с целью получения достоверных, международно признаваемых данных об окружающей среде и климатических изменениях, включая результаты расчётов и оценки, необходимые для формирования научно обоснованной стратегии устойчивого развития России. Другими словами, нам необходимы независимые прогнозы изменений климата с учётом региональных особенностей страны, выбросов, нетто-поглощения и баланса парниковых газов для международной отчётности, а также достоверные оценки воздействий изменений климата на разные секторы хозяйства страны и экосистемы для обоснования собственных сценариев развития экономики и планирования адаптационных мер.

Реализация ВИП ГЗ на первом этапе (2022–2024) осуществлялась посредством взаимосогласованной работы шести консорциумов, получивших условные названия “Земная система мониторинга, моделирования и прогноз” (головная организация Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН), “Океан: мониторинг и адаптация” (головная организация Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН), “Суша: мониторинг и адаптация”, (головная организация Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова Росгидромета), “Углерод в экосистемах: мониторинг” (головная организация Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева РАН), “Экономика климата” (головная организация Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН) и “Антропогенные выбросы: кадастр” (головная организация Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля Росгидромета). На рисунке 4 показана общая структура ВИП ГЗ и взаимосвязи консорциумов. Принципиально важным моментом стало то, что впервые (возможно, и в мировой практике) проблема изменений климата рассматривается комплексно — от мониторинга происходящих изменений и моделирования до экономических аспектов



Рис. 4. Организационная структура ВИП ГЗ (связи между отдельными консорциумами)

Fig. 4. Organizational structure of MIP NS (connections between individual consortia)

и мер адаптации. В этом смысле ВИП ГЗ фактически объединил задачи оценки последствий изменений глобального климата, которые на международном уровне решают три рабочие группы МГЭИК. Всего в реализации ВИП ГЗ на первом этапе (2022–2024) участвовала 51 организация, включая 42 научных института Российской академии наук.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРВОГО ЭТАПА ВИП ГЗ (2022–2024)

На первом этапе Консорциумом 3 “Суша: мониторинг и адаптация” была разработана конфигурация и начато создание Государственной системы фонового мониторинга многолетней мерзлоты (78 пунктов наблюдений из запланированных 140), адаптации государственной сети гидрологического мониторинга для речных бассейнов России с высокими гидрологическими рисками, для чего разработана национальная гидрологическая моделирующая система, система мониторинга опустынивания для 14 субъектов РФ, начато формирование системы городского экологического и климатического обслуживания для крупных городов России, а также выполнены работы по анализу влияния изменений климата на процессы опустынивания в ряде южных регионов России. Это позволило обеспечить получение новых высокоточных непрерывных данных о климатическом и экологическом состоянии территории России. Особо следует сказать о системе

фонового мониторинга многолетней мерзлоты. До начала реализации ВИП ГЗ (2022) имелось менее 10 точек наблюдений за состоянием вечномёрзлых грунтов. В результате выполнения первого этапа работ по ВИП ГЗ удалось организовать 78 станций с постоянным мониторингом характеристик грунтов (рис. 5), составляющих сегодня основу Государственной системы (фонового) мониторинга состояния многолетней мерзлоты (ГСМ СММ) на территории России.

Базовым элементом ГСМ СММ является распределённая по территории развития многолетней мерзлоты сеть пунктов наблюдений за её состоянием. Концептуально проект предусматривает создание на базе функционирующих метеорологических пунктов наблюдений (ПН СММ) Росгидромета 140 станций наблюдений. В этих точках должны выполняться непрерывные автоматические измерения температуры многолетней мерзлоты в пробуренных и оборудованных датчиками скважинах глубиной 25.2 м. Причём на 30 ПН СММ будут организованы наблюдения за динамикой толщины сезонно талого слоя. Данные мониторинга после соответствующей обработки и верификации будут передаваться заинтересованным потребителям с использованием ГСМ СММ, использоваться при разработке моделей многолетней мерзлоты, включаемых в модели земной системы, а оценочные и прогнозные документы, разработанные на основе получаемых данных, должны предоставляться органам

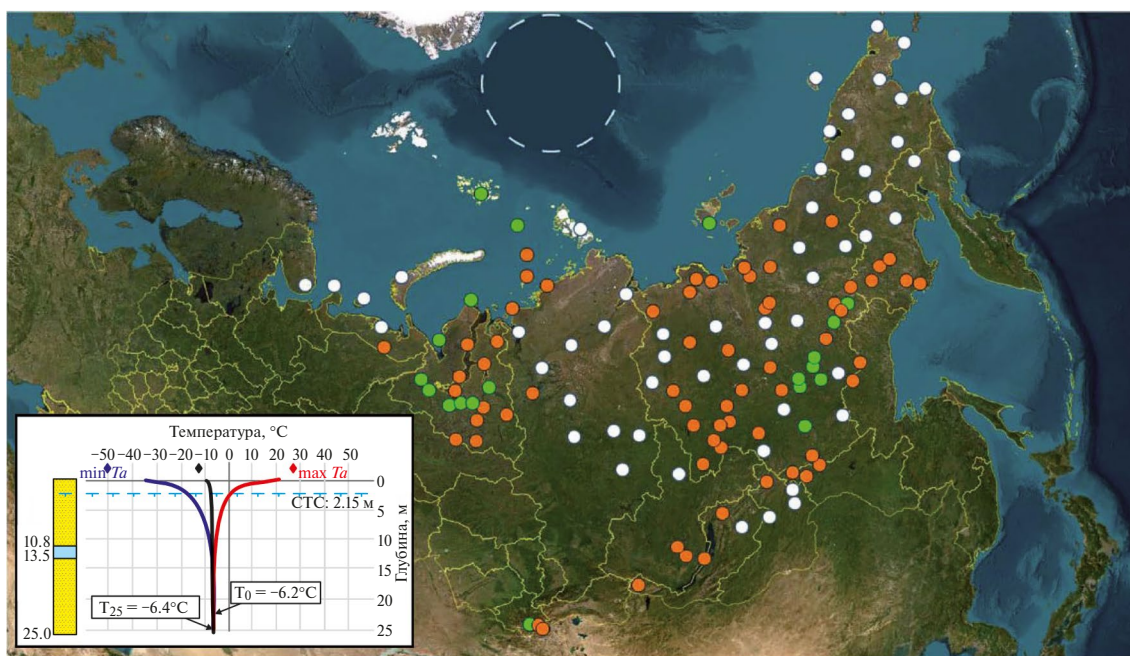


Рис. 5. Расположение станций ГСМ СММ с постоянным мониторингом характеристик многолетнемерзлых грунтов. Зелеными, коричневыми и белыми точками показаны станции первой, второй и третьей очереди ГСМ СММ

На врезке: литологическое строение и температурная характеристика скважины Восточная (63.2° с.ш., 139.6° в.д., 1286 м) с годовым циклом измерений

Fig. 5. Location of stations of the National Monitoring System with continuous monitoring of permafrost soil characteristics. Green, brown and white points correspond to the first, second and third stages of the National Monitoring System

Inset: lithological structure and temperature characteristics of the Vostochnaya borehole (63.2°N, 139.6°E, 1286 m) with an annual measurement cycle

государственной власти, российским ведомствам и учреждениям, международным центрам в рамках участия Российской Федерации во Всемирной метеорологической организации и международных программах.

Рисунок 5 (врезка) в качестве примера иллюстрирует литологическое строение и температурную характеристику скважины Восточная (63.2° с.ш., 139.6° в.д., 1286 м) с годовым циклом измерений. Эта скважина в Республике Саха (Якутия) характеризуется наиболее низкими температурами мерзлоты ($T_0 = -6.2^\circ\text{C}$). Хорошо виден отклик слоя сезонного протаивания на сезонный ход температуры на поверхности. Такие оценки сегодня можно выполнять для 78 точек мониторинга.

Консорциумом 2 “Океан: мониторинг и адаптация” на первом этапе была разработана гибридная система мониторинга ключевых районов океана и морей России и начата её имплементация (4 судовых комплекса, 6 стационарных вышек и 3 стационарные буйковые системы). Это позволило впервые обеспечить кру-

плоглодный мониторинг потоков парниковых газов и термодинамического состояния ключевых районов океана и морей России, улучшить на 20–30% точность оценок углеродного цикла и обнаружить ранее неизвестные механизмы влияния океана на климат, в частности, ключевую роль конвективных процессов в субполярной Атлантике в противовес средним широтам и положению Гольфстрима. Все данные включены в модельную систему создания реанализов океана и морей России – цифровых атласов, необходимых для прогностических оценок и планирования адаптационных мер.

В ходе работ впервые удалось создать принципиально новые системы наблюдений, в частности стационарные поверхностные буи и стационарные платформы с возможностью долговременных измерений метеорологических характеристик, потоков CO_2 и CH_4 , а также береговые вышки с измерителями потоков парниковых газов на нескольких уровнях (рис. 6). Были также созданы уникальные судовые системы наблюдений за потоками парниковых газов и параметрами ветрового

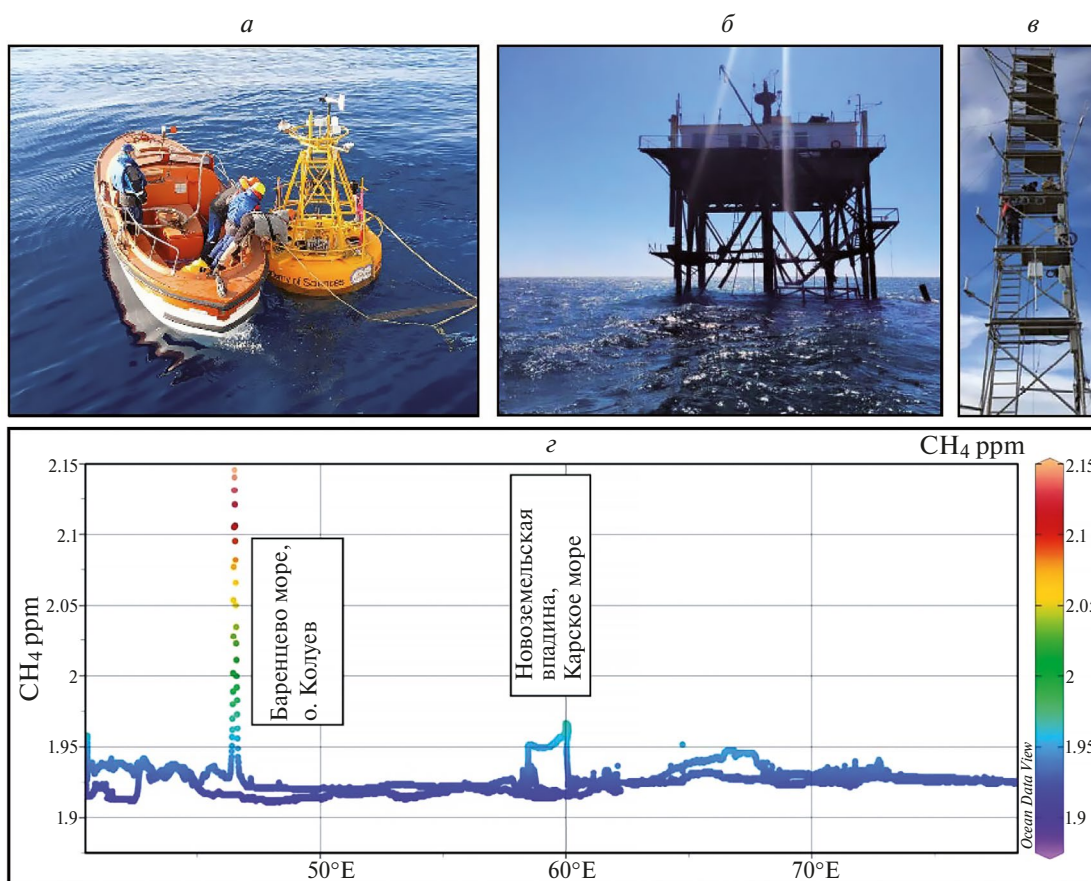


Рис. 6. Установка стационарного метеорологического буя ИО РАН в субполярной Атлантике (а), стационарная наблюдательная платформа МГИ в Чёрном море (б), стационарная береговая измерительная вышка ААНИИ обсерватории Тикси (в), пример судового профилирования концентраций метана в Баренцевом море с идентификацией локальных аномалий концентраций по значениям, превышающим фоновые (г)

Fig. 6. Installation of a stationary meteorological buoy of the IO RAS in the subpolar Atlantic (a), stationary observation platform of MGI in the Black Sea (b), stationary coastal measuring tower of the AARI Tiksi Observatory (c), example of ship profiling of methane concentrations in the Barents Sea with identification of local concentration anomalies by values exceeding background values (d)

страны. В результате работы Консорциума 4 впервые удалось получить карты потоков CO_2 , CH_4 и N_2O для всей территории России [14]. На рисунке 7 представлены карты потоков между биомом и атмосферой для CO_2 , CH_4 и N_2O с учётом антропогенного влияния. Эти карты показывают интегральное для территории России поглощение CO_2 и эмиссию CH_4 и N_2O . При этом оценка интегрального поглощения CO_2 -эквивалента составляет для территории России $1.55 \pm 0.91 \text{ Pg CO}_2\text{-экв.}$ в год. Эта оценка имеет существенную неопределённость, для уменьшения которой и улучшения точности потоков отдельных газовых компонентов и нетто-поглощения парниковых газов необходимо разворачивать запроектированную сеть мониторинга и продолжать проект.

Все перечисленные результаты составили основу построения климатических прогнозов для мира и территории России (задача Консорциума 1 “Земная система мониторинга, моделирования и прогноз”). Работы, выполненные консорциумом, позволили существенно обновить национальную модель Земной системы ИВМ РАН INM-СМ6 [15, 16]. В современную версию модели включены новые параметризации облачности, что принципиально важно для улучшения моделирования не только радиационного переноса, но и водного цикла земной системы. Было существенно повышено качество описания физики аэрозолей, которые играют всё большую роль в климатической системе, будучи основным механизмом, работающим против потепления. Важный шаг сделан с точки зрения учёта малых парниковых газов и включения в модель интерактивных циклов углерода и метана, а также улучшения описания процессов на суше. Последнее позволяет принимать во внимание неопределённости в оценке балансов CO_2 в экосистемах, а также запасы метана в болотах и мерзлоте, что особенно важно для России.

Следует отметить, что за работы, внёсшие выдающийся вклад в развитие математического моделирования климатической системы Земли, в частности за создание новой версии национальной модели, Золотая медаль имени А.М. Обухова РАН 2023 г. была присуждена доктору физико-математических наук, профессору РАН Е.М. Володину.

На рисунке 8 показано, что новая версия модели адекватно, по сравнению с иностранными аналогами, воспроизводит наблюдаемые изменения климата, прогнозируя для сценария SSP3-7.0 потепление выше 3.0° на конец XXI столетия. Модель достаточно хорошо имитирует изменения приземной температуры воздуха на Земле за последние 60 лет (рис. 8), в частности усиление потепления в Арктике и отрицательные тренды температуры в Северной Атлантике (так называемый “cold blob”).

Значимое ограничение для развития национальной модели – пространственное разрешение, которое пока составляет $1 \times 1.25^\circ$ для атмосферы и $0.25 \times 0.5^\circ$ для океана. Улучшение разрешения, безусловно, позволит существенно улучшить качество модельных решений и прогностических оценок. Это требует использования высокопроизводительных вычислительных систем, в частности суперкомпьютера нового поколения, что давно обсуждается в Российской академии наук. Пока же эту проблему приходится решать на региональном уровне в рамках тесного взаимодействия Консорциума 1 с консорциумами 2 и 3. Так, Консорциумом 3 была создана высокоразрешающая (пространственное разрешение 25 км) многоцелевая система моделирования и прогнозирования регионального климата для территории России и Арктического макрорегиона [17, 18], позволяющая обеспечивать регионально-ориентированное сценарное прогнозирование климатических изменений с использованием массовых ансамблевых расчётов, пре-

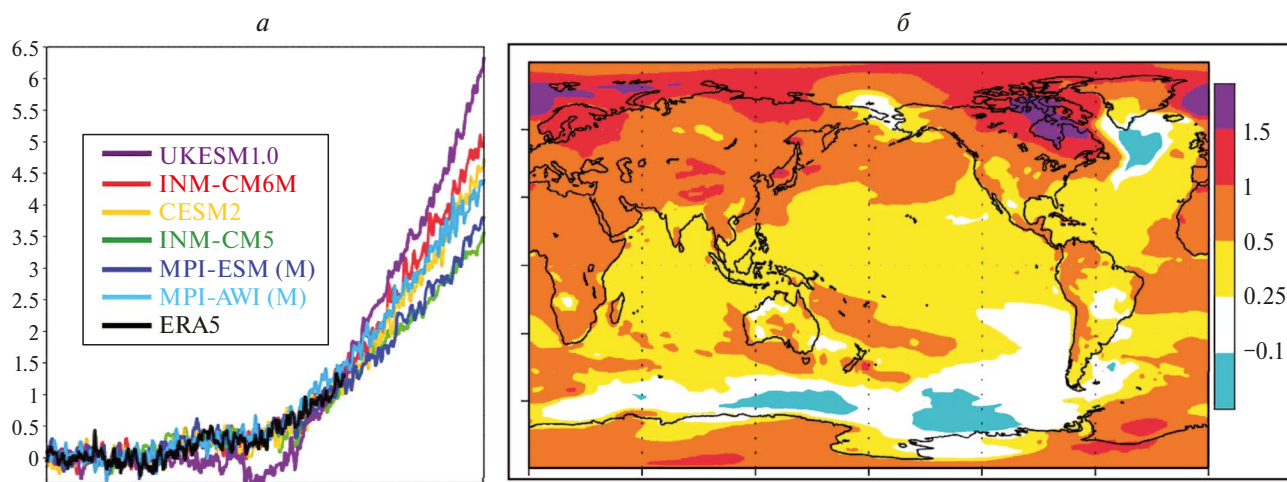


Рис. 8. Воспроизведение и прогноз средней глобальной температуры для сценария SSP3-7.0 (а) несколькими ведущими мировыми климатическими моделями, включая модель INM-СМ6 (зелёный цвет); воспроизведение моделью INM-СМ6 изменений приземной температуры воздуха за последние 60 лет (б)

Fig. 8. Reproduction and forecast of the average global temperature for the SSP3-7.0 scenario (a) by several leading global climate models, including the INM-СМ6 model (green); reproduction of changes in surface air temperature over the past 60 years by the INM-СМ6 model (b)

жде всего для планирования адаптационных мер. Консорциумом 2 в настоящее время создаются высокоразрешающие модели различных регионов Мирового океана, позволяющие моделировать океанскую динамику с разрешением 1/12 градуса и лучше [19] и получать не только высокоинформативные картины динамики океана, но и региональные оценки потоков CO₂ и других климатически активных газов с поверхности океана.

Результаты выполненных консорциумами 2–4 работ позволили Консорциуму 6 “Антропогенные выбросы: кадастр” существенно улучшить расчёт параметров Кадастра антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990–2022 гг. — главного документа международной отчётности страны в этой области. В рамках ВИП ГЗ усовершенствованы оценки и уточнены используемые пересчётные коэффициенты по всем секторам кадастра (в секторе энергетика: коэффициенты выбросов диоксида углерода (CO₂) от сжигания жидкого топлива; коэффициенты выбросов CO₂ и CH₄ от утечек и испарений (фугитивные выбросы) при добыче нефти и природного газа). Особое внимание было уделено уточнению пересчётных коэффициентов в секторе “Промышленные процессы и использование продукции (ППИП)”, в частности коэффициентов выбросов CO₂ в нефтехимической промышленности (производство этилена, метанола, технического углерода). В секторе сельского хозяйства акцент был сделан на параметрах переваримости кормов и характеристик эмиссии CH₄ при внутренней ферментации крупного рогатого скота, а также на коэффициентах выброса CH₄ и закиси азота (N₂O) от систем хранения и использования навоза. Наконец, в секторе “Землепользование: изменения в землепользовании и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ)” использованы новые исходные данные по лесам (площади, запасы древесины, ежегод-

ный прирост, площади гибели лесов от пожаров, объём заготовленной древесины), а также по осушенным органомогенным почвам, учтены средние сроки службы различных видов заготовленных лесоматериалов [20].

Всего уточнено 22 пересчётных коэффициента по всем секторам экономики, которые входят в кадастр, что позволило более чем на треть уменьшить оценки нетто-выбросов парниковых газов с территории Российской Федерации. Актуализация методов, пересчётных параметров и коэффициентов расчётного мониторинга позволила не только уточнить абсолютные значения антропогенных потоков парниковых газов в России, но и более аккуратно установить их временную динамику с 1990 г. В результате работ первого этапа ВИП ГЗ кумулятивные антропогенные нетто-выбросы Российской Федерации уточнены и снижены с величины 1650 млн т CO₂-экв. (2021 г. по кадастру, представленному в 2023 г.) до 911 млн т CO₂-экв. (2023 г. по кадастру, представленному в 2025 г.) (рис. 9). При этом высокая вариабельность нетто-выбросов CO₂ в течение всего временного ряда связана с динамикой пожаров в управляемых лесах. Обновление кадастра позволило получить новую информацию, очень важную для переговорной позиции России по вопросам климатической повестки.

Интегральный блок работ ВИП ГЗ — экономические оценка и прогноз последствий изменений климата, включая вклад хозяйственного комплекса в эмиссии парниковых газов и его адаптацию к указанным изменениям, — был реализован Консорциумом 5 “Экономика климата”. Ключевыми результатами стали методика разработки сценариев и модель оценки социально-экономических эффектов реализации климатической повестки и политики низкоуглеродного развития, конкретных мер (технологий) по декарбонизации экономики на уровне стран и регионов

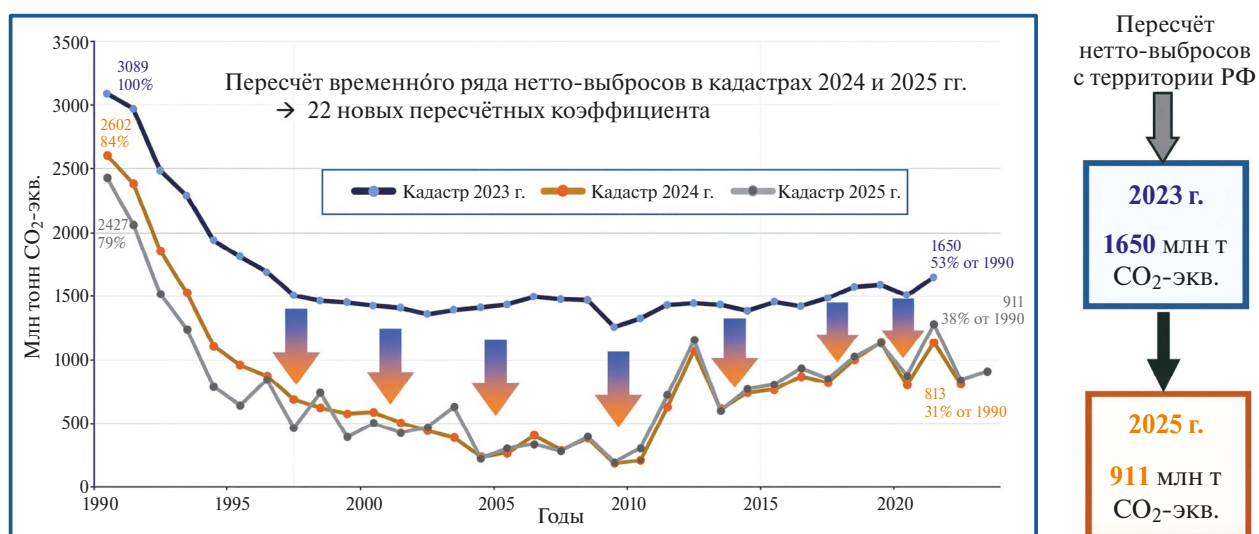


Рис. 9. Результаты пересчёта нетто-выбросов в кадастрах 2024 и 2025 гг. по сравнению с кадастром 2023 г. благодаря уточнению 22 пересчётных коэффициентов по всем секторам экономики

Fig. 9. Results of recalculation of net emissions in the 2024 and 2025 inventories compared to the 2023 inventory due to the refinement of 22 conversion factors for all sectors of the economy

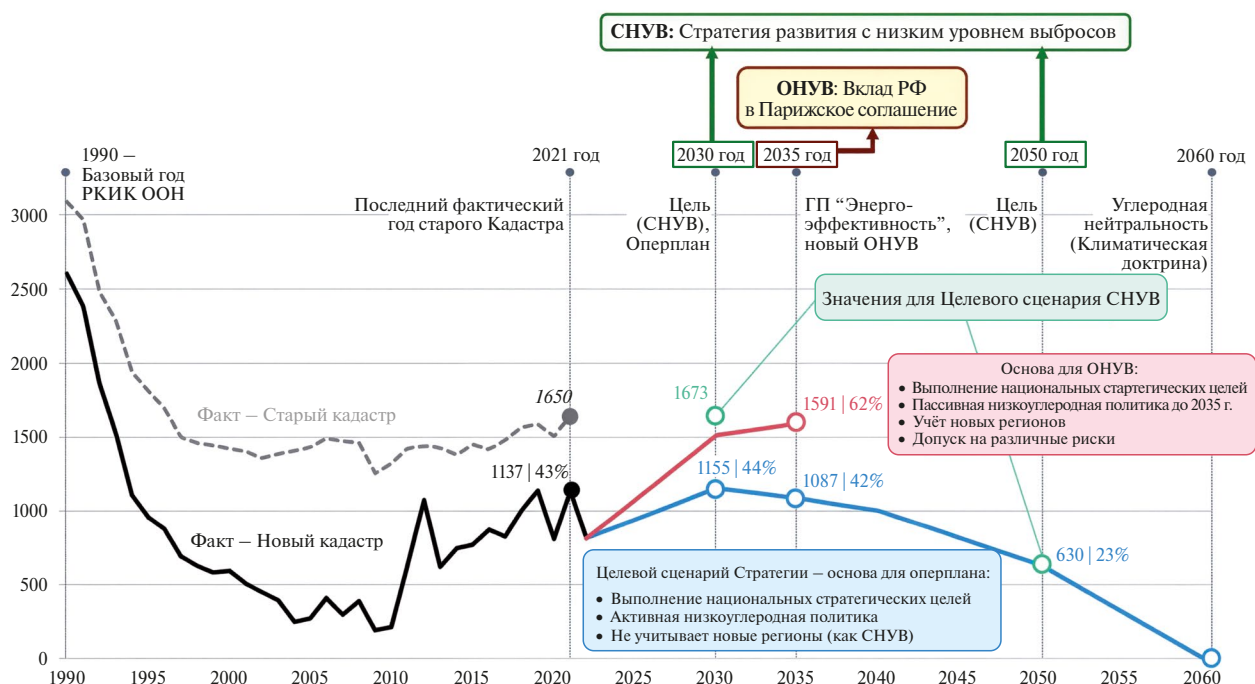


Рис. 10. Обоснование сценария снижения выбросов парниковых газов в России на период до 2050 г.

Fig. 10. Justification of the scenario for reducing greenhouse gas emissions in Russia for the period up to 2050

мира, прежде всего Российской Федерации. Сегодня в модели, разрабатываемые ИИП РАН, включены параметры ценообразования на выбросы парниковых газов в России и за рубежом с дифференциацией по уровню цены, отраслям и форме реализации, включая влияние введения трансграничного углеродного регулирования на перспективы экономики России. Это обеспечило возможность прогнозирования удельных показателей выбросов парниковых газов в отраслях экономики и позволило включить в расчёты оценку экономической эффективности мер декарбонизации по детализированному перечню мер с учётом модельной номенклатуры видов продукции [21, 22]. Обоснование сценария снижения выбросов парниковых газов в России на период до 2050 г., разработанного Консорциумом 5, представлено на рисунке 10.

Разработанные сценарии стали основой как для нового ООНУВ России (определяемый на национальном уровне вклад в рамках Парижского соглашения), так и для оперативного плана реализации Стратегии низкоуглеродного развития. В рамках расчётов показано, что благодаря выбору эффективных мероприятий по декарбонизации можно обеспечить как реализацию национальных целей развития, так и необходимый вклад России в снижение антропогенного воздействия на климат. Кроме того, становится очевидным, что достижение углеродной нейтральности к 2060 г. возможно.

Ещё один важный результат — оценка эффективности мер адаптации к изменениям климата, выполненная впервые в российской практике. Рассчитан баланс экономических потерь и выгод при повышении средней температуры на 1 градус Цельсия. Показано, что положительный баланс для экономики достижим при

реализации комплекса адаптационных мероприятий, экономически наиболее эффективными из которых являются меры по адаптации к изменению климата объектов и систем в сельском хозяйстве, на транспорте, а также зданий и сооружений в зоне вечной мерзлоты. Согласно оценкам ИИП РАН, без мер адаптации экономика страны в ближайшие 20 лет недоиспользуется 3 трлн руб., тогда как использование таких мер может принести выгоду в размере 325 млрд руб. Другими словами, технологически и экономически обоснованная адаптация к изменениям климата является не обременением, а выгодной инвестицией [23, 24].

* * *

Выполнение первого этапа ВИП ГЗ (2022–2024) позволило построить принципиально новые системы мониторинга и моделирования климата с акцентом на территорию России и получить уникальные научные результаты. Более того, эти результаты оказались экономически высокоэффективными: денежный эквивалент выгод от вышеупомянутого пересчёта коэффициентов и снижения объёма антропогенных нетто-выбросов парниковых газов в национальном кадастре Российской Федерации 2025 г. почти на 740 млн т, на порядки¹ превосходит совокупные затраты на данный этап работ проекта (порядка 9 млрд руб.).

¹ Согласно модельным расчётам ИИП РАН, на каждый рубль вложений в ВИП ГЗ выгоды для бюджета страны оцениваются в 229 руб., исходя из стоимости субсидий на меры декарбонизации в сфере электротранспорта и секторе обращения с отходами. Эффект для экономики в целом ещё выше (343 руб. на вложенный рубль).

К сожалению, в 2025 – начале 2026 г. финансирование работ по ВИП ГЗ было приостановлено, что создаёт серьёзные риски не только эффективности, но самой перспективе использования созданных систем мониторинга, включая риск заморозки всех модельных и информационных ресурсов. В этой связи возникают серьёзные сомнения в реализации запланированного на 2030 г. создания национальной системы мониторинга климатических изменений.

Учитывая значимость проблемы климата для решения важнейших научных и практических задач, обеспечения устойчивого развития страны и её национальной безопасности, необходимо качественно изменить ситуацию, в том числе отношение к ВИП ГЗ

со стороны всех заинтересованных сторон. Российская академия наук готова играть в этом самую активную роль, включая подготовку предложений для органов государственной власти (в первую очередь Минэкономразвития России) по планированию и координации работ в рамках второго этапа ВИП ГЗ. Мы исходим из императива чёткого позиционирования задач и ожидаемых результатов ВИП ГЗ в Национальном проекте “Эффективная и конкурентная экономика”, а также в других национальных проектах, в первую очередь “Экологическое благополучие”, “Эффективная транспортная система” и НПТЛ “Технологическое обеспечение продовольственной безопасности”. Это необходимое (хотя и недостаточное) условие перезапуска ВИП ГЗ с 2027 г. на период до 2031–2032 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. NOAA National Centers for Environmental Information (2024). *Annual 2024 Global Climate Report*. <https://www.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413> (accessed May 21, 2025).
2. World Meteorological Organization (WMO). *State of the Global Climate 2025*. (WMO-No. 1342). Geneva, 2026. ISBN: 978-92-63-11299-7. <https://doi.org/10.59327/WMO/S/CRI/SOC1>
3. Gulev S.K., Thorne P.W., Ahn J., et al. Changing State of the Climate System. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, et al. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, pp. 287–422, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.004>
4. *National Snow and Ice Data Center*, 2025. <https://nsidc.org/sea-ice-today>
5. Бардин М.Ю., Аржанова Н.М., Гаврилова С.Ю. и др. Изменения климата на территории Российской Федерации. Наблюдаемые изменения / *Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* / Под ред. В.М. Катцова. Росгидромет. СПб.: Научноёмкие технологии. С. 62–181. Bardin M.Yu., Arzhanova N.M., Gavrilova S.Yu., et al. *Climate Change in the Russian Federation. Observed Changes / Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation* / Ed. V.M. Kattsov. Roshydromet. St. Petersburg: Science-Intensive Technologies. Pp. 62–181. (In Russ.)
6. Friedlingstein P., et al. Global Carbon Budget 2025. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 2025. [preprint] <https://doi.org/10.5194/essd-2025-659>
7. Gulev S.K., Latif M., Keenlyside N., et al. 2013: North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales. *Nature*. 2013, no. 499, pp. 464–467. <https://doi.org/10.1038/nature12268>
8. Gulev S.K., Latif M. 2015: The origins of a climate oscillation. *Nature*. 2015, no. 521, pp. 428–430. <https://doi.org/10.1038/521428a>
9. Eyring V., Gillett N.P., Achuta Rao K.M., Barimalala R., et al. Human Influence on the Climate System. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Masson-Delmotte V., et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2021. Pp. 423–552. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.005>
10. Lee J.-Y., Marotzke J., Bala G., et al. Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Masson-Delmotte V., et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2021. Pp. 553–672. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
11. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Masson-Delmotte V., et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2021. Pp. 3–32. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
12. Ezhova E., Tilinina N., Gulev S., et al. Real-time open ocean wind waves from navigation radars for a truly global wind wave operational observing system. *Applied Ocean Research*. 2025, vol. 165, 104867. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2025.104867>
13. Гулев С.К., Дурманов Н.Д., Ольчев А.В., Шашкин А.П. Пилотный проект карбоновых полигонов на территории России. *Карбоновые полигоны: мониторинг, геоинформационные системы, секвестрационные технологии* / Под ред. С.К. Гулева и А.В. Ольчева. М.: Научный мир, 2025.

- Gulev S.K., Durmanov N.D., Olchev A.V., Shashkin A.P. Pilot project of carbon polygons on the territory of Russia. In: *Carbon polygons: monitoring, geoinformation systems, sequestration technologies* / Ed. S.K. Gulev and A.V. Olchev. Moscow: Scientific World, 2025. (In Russ.)
14. Shvidenko A., Ciais P., Patra P.K., et al. A system reanalysis of the current greenhouse gases budget of terrestrial ecosystems in Russia. *Global Biogeochemical Cycles*. 2025, no. 39, e2025GB008540. <https://doi.org/10.1029/2025GB008540>
 15. Volodin E.M., Blagodatskikh D.V., Bragina V.V., et al. Computational framework for the Earth system modelling and the INM-CM6 climate model implemented on its base. *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2024, no. 39(6), pp. 379–392.
 16. Gritsun A.S., Volodin E.M., Bragina V.V., et al. Simulation of modern and future climate by INM-CM6M. *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2024, no. 39(6), pp. 329–341.
 17. Пикалёва А.А., Школьник И.М., Цветкова Е.Ю. и др. Прогнозные оценки будущих изменений климата с помощью Многоцелевой системы моделирования и сценарного прогнозирования регионального климата для территории России (МСМПК-Р). *Метеорология и гидрология*. 2025. № 9. С. 116–126.
Pikaleva A.A., Shkolnik I.M., Tsvetkova E. Yu., et al. Future climate changes as simulated by the Multipurpose system for modeling and regional climate projections over Russia (MSMRCP-R). *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025, no. 9, pp. 116–126. (In Russ.)
 18. Школьник И.М., Чернов И.А., Пикалёва А.А. и др. Многоцелевая система моделирования и сценарного прогнозирования регионального климата для Арктического макрорегиона (МСМПК-А). *Метеорология и гидрология*. 2025. № 9. С. 99–115.
Shkolnik I.M., Chernov I.A., Pikaleva A.A., et al. Multipurpose system for modeling and regional climate projections in the Arctic macroregion (MSMRCP-A). *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025, no. 9, pp. 99–115. (In Russ.)
 19. Verezemskaya P., Gulev S., Barnier B., et al. A regional NEMO 4.0 configuration of the subpolar North Atlantic. *Ocean Modelling*. 2025, vol. 194, 102457. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2024.102457>
 20. Романовская А.А., Гинзбург В.А., Гладильщикова А.А. и др. Антропогенные потоки парниковых газов в России. *Метеорология и гидрология*. 2025. № 9. С. 58–83. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2025-9-58-83>
Romanovskaya A.A., Ginzburg V.A., Gladilshchikova A.A., et al. Anthropogenic greenhouse gas fluxes in Russia. *Meteorology and Hydrology*. 2025, no. 9, pp. 58–83. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2025-9-58-83> (In Russ.)
 21. Shirov A.A. Development of a System for Monitoring and Forecasting Emissions of Climatically Active Substances in the Interests of Modernization and Development of the Russian Economy. *Studies on Russian Economic Development*. 2023, vol. 34, no. 6, pp. 728–737. <https://doi.org/10.1134/S1075700723060163>
 22. Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. Target Scenario of Low Greenhouse Gas Emissions Socio-Economic Development of Russia for the Period until 2060. *Studies on Russian Economic Development*. 2023, vol. 34, no. 6, pp. 758–768. <https://doi.org/10.1134/S1075700723060151>
 23. Porfiriev B.N., Kolpakov A.Yu., Lazeeva E.A. Assessing the Impact of Climate Change on the Russian Economy Using Integrated Assessment Models (IAM). *Studies on Russian Economic Development*. 2025, vol. 36, no. 1, pp. 35–44. <https://doi.org/10.1134/S1075700724700503>
 24. Porfiriev B.N., Kolpakov A.Yu., Eliseev D.O., et al. Economic Effects of Climate Change in Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2025, vol. 36, no. 2, pp. 161–174. <https://doi.org/10.1134/S1075700724700631>

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040095

Оригинальная статья

УРОКИ COVID-19 ДЛЯ БУДУЩИХ ПАНДЕМИЙ: ОТ ГЕНЕТИКИ
ВОЗБУДИТЕЛЯ ДО УПРАВЛЕНИЯ ЭПИДЕМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

В.Г. Акимкин^{1,*}, А.И. Аветисян², А.П. Гучанова³, А.А. Дынкин^{3,4},
В.В. Зверев^{4,5}, М.П. Кирпичников^{4,6}, М.В. Ковальчук⁷, В.В. Козлов^{4,8},
Е.Д. Свердлов⁷, О.А. Свитич⁵, В.И. Стародубов^{4,9}, Н.К. Янковский^{6,10}

¹ФБУН Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии Роспотребнадзора,
Москва, Российская Федерация

²Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва, Российская Федерация

³Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений
имени Е.М. Примакова РАН, Москва, Российская Федерация

⁴Российская академия наук, Москва, Российская Федерация

⁵ФГБНУ Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток
им. И.И. Мечникова, Москва, Российская Федерация

⁶Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

⁷НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Российская Федерация

⁸Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, Москва, Российская Федерация

⁹ФГБУ Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации
здравоохранения Минздрава РФ, Москва, Российская Федерация

¹⁰ФГБУН Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Российская Федерация

*E-mail: vgakimkin@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ пандемии новой коронавирусной инфекции (COVID-19) как глобального биологического, социального и экономического кризиса начала XXI в. Рассмотрены ключевые этапы возникновения и развития пандемии, биологические свойства возбудителя SARS-CoV-2, особенности его генетической эволюции и влияние вариабельности вируса на проявления эпидемического процесса. Особое внимание уделено российскому опыту создания и внедрения национальных цифровых платформ (VGARus, SOLAR, EpidSmart), развитию геномики, эпигенетики, синтетической биологии, биоинженерии и отечественной диагностики возбудителей инфекционных болезней. Обобщены глобальные последствия пандемии для экономики, здравоохранения и общества, а также сформулированы ключевые итоги и уроки пандемии COVID-19.

Ключевые слова: COVID-19, SARS-CoV-2, пандемия, эпидемиология, геномный эпидемиологический надзор, биобезопасность, цифровизация, молекулярная диагностика, NGS-секвенирование, таргетное секвенирование, метагеномное секвенирование, иммуносеквенирование, NGS-панели, VGARus, SOLAR

Финансирование. Исследование проведено без дополнительного финансирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что у них отсутствует конфликт интересов.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

Ссылка для цитирования: Акимкин В.Г., Аветисян А.И., Гучанова А.П. и др. Уроки COVID-19 для будущих пандемий: от генетики возбудителя до управления эпидемическим процессом. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 4. С. 385–405. <https://doi.org/10.7868/S3034520026040095>

Поступила в редакцию 15.01.2026

После доработки 15.01.2026

Принята к публикации 28.02.2026

АКИМКИН Василий Геннадьевич – академик РАН, директор ФГБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва, Российская Федерация, e-mail: vgakimkin@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4228-9044>. АВETИСЯН Арутюн Ишханович – академик РАН, директор ИСП РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: arut@ispras.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0470-9944>. ГУЧАНОВА Анастасия Павловна – кандидат экономических наук, научный сотрудник ИМЭМО РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: a.guchanova@imemo.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1114-6729>. ДЫНКИН Александр Александрович – академик РАН, академик-секретарь Отделения глобальных проблем и международных отношений РАН, президент ИМЭМО РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: dynkin@imemo.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4183-914X>. ЗВЕРЕВ Виталий Васильевич – академик РАН, заместитель академика-секретаря Отделения медицинских наук РАН, научный руководитель НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва, Российская Федерация, e-mail: vitalyzverev@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-0017-1892>. КИРПИЧНИКОВ Михаил Петрович – академик РАН, академик-секретарь Отделения биологических наук РАН, член Президиума РАН, декан биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, e-mail: kirpichnikov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8170-1607>. КОВАЛЬЧУК Михаил Валентинович – член-корреспондент РАН, президент НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Российская Федерация, e-mail: nrcki@nrcki.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8255-7993>. КОЗЛОВ Валерий Васильевич – академик РАН, академик-секретарь Отделения математических наук, главный научный сотрудник Математического института им. В.А. Стеклова РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: vkozlov@presidium.ras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9469-2284>. СВЕРДЛОВ Евгений Давидович – академик РАН, руководитель Центра геномных исследований мирового уровня НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Российская Федерация, e-mail: edsverd@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0684-2503>. СВИТИЧ Оксана Анатольевна – член-корреспондент РАН, директор НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва, Российская Федерация, e-mail: svitichoa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1757-8389>. СТАРОДУБОВ Владимир Иванович – академик РАН, академик-секретарь Отделения медицинских наук РАН, член Президиума РАН, Москва, Российская Федерация, e-mail: starodubov@mednet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3625-4278>. ЯНКОВСКИЙ Николай Казимирович – академик РАН, научный руководитель Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, профессор биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, e-mail: yankovsky@vigg.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2467-2683>.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ЧЛЕНОВ РАН
GENERAL MEETING OF THE MEMBERS OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

DOI: 10.7868/S3034520026040095

Original Article

COVID-19 LESSONS FOR FUTURE PANDEMICS: FROM PATHOGEN
GENETICS TO EPIDEMIC PROCESS MANAGEMENT

V.G. Akimkin^{1,*}, A.I. Avetisyan², A.P. Guchanova³, A.A. Dynkin^{3,4}, V.V. Zverev^{4,5},
M.P. Kirpichnikov^{4,6}, M.V. Kovalchuk⁷, V.V. Kozlov^{4,8}, E.D. Sverdlov⁷, O.A. Svitich⁵,
V.I. Starodubov^{4,9}, N.K. Yankovsky^{6,10}

¹Central Research Institute of Epidemiology of Rospotrebnadzor, Moscow, Russian Federation

²Ivannikov Institute for System Programming of the RAS, Moscow, Russian Federation

³Primakov National Research Institute of World Economy and International Relations of the RAS,
Moscow, Russian Federation

⁴The Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁵I.I. Mechnikov Vaccine and Serum Research Institute, Moscow, Russian Federation

⁶Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

⁷National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation

⁸Steklov Mathematical Institute, Moscow, Russian Federation

⁹Russian Research Institute of Health, Moscow, Russian Federation

¹⁰Vavilov Institute of General Genetics, Moscow, Russian Federation

*E-mail: vgakimkin@yandex.ru

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the novel coronavirus infection (COVID-19) pandemic as a global biological, social, and economic crisis of the early 21st century. It examines the key stages of the pandemic's emergence and development, the biological properties of the SARS-CoV-2 pathogen, the characteristics of its genetic evolution, and the impact of viral variability on the manifestations of the epidemic process. Special attention is paid to the Russian experience in creating and implementing national digital platforms (VGARus, SOLAR, EpidSmart), the development of genomics, epigenetics, synthetic biology, bioengineering, and domestic diagnostics of infectious disease pathogens. The global consequences of the pandemic for the economy, healthcare, and society are summarized, and key outcomes and lessons learned from the COVID-19 pandemic are formulated.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, pandemic, epidemiology, genomic epidemiology surveillance, biosafety, digitalization, molecular diagnostics, NGS sequencing, targeted sequencing, metagenomic sequencing, immunosequencing, NGS panels, VGARus, SOLAR

Funding. No additional funding was received for this study.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Author contributions. All authors contributed substantially to the conception, research, and writing of this paper.

For Citation: Akimkin V.G., Avetisyan A.I., Guchanova A.P. et al. COVID-19 lessons for future pandemics: from pathogen genetics to epidemic process management. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 4, pp. 385–405. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026040095>

Received January 15, 2026
Revised January 15, 2026
Accepted February 28, 2026

AKIMKIN Vasily G. – Academician of the RAS, Director of the FSBSI Central Research Institute of Epidemiology of Rospotrebnadzor, Moscow, Russian Federation, e-mail: vgakimkin@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4228-9044>. AVETISYAN Arutyun I. – Academician of the RAS, Director of the ISP RAS, Moscow, Russian Federation, e-mail: arut@ispras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0470-9944>. GUCHANOVA Anastasia P. – Ph.D. in Economics, Research Fellow at IMEMO RAS, Moscow, Russian Federation, e-mail: a.guchanova@imemo.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1114-6729>. DYNKIN Alexander A. – Academician of the RAS, Academician-Secretary of the Department of Global Problems and International Relations, RAS, President of IMEMO RAS, Moscow, Russian Federation, e-mail: dynkin@imemo.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4183-914X>. ZVEREV Vitaliy V. – Academician of the RAS, Deputy Academician-Secretary of the Department of Medical Sciences, RAS, Research Supervisor of the Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russian Federation, e-mail: vitalyzverev@outlook.com, <https://orcid.org/0000-0002-0017-1892>. KIRPICHNIKOV Mikhail P. – Academician of the RAS, Academician-Secretary of the Department of Biological Sciences, RAS, Member of the RAS Presidium, Dean of the Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, e-mail: kirpichnikov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8170-1607>. KOVAL'CHUK Mikhail V. – Corresponding member of RAS, President of the NRC “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation, e-mail: nrcki@nrcki.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8255-7993>. KOZLOV Valery V. – Academician of the RAS, Academician-Secretary of the Department of Mathematical Sciences, Principal scientist at the MI RAS, Moscow, Russian Federation, e-mail: vkozlov@presidium.ras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9469-2284>. SVERDLOV Evgeny D. – Academician of the RAS, Head of the World-Class Genomic Research Center at NRC “Kurchatov Institute”, Moscow, Russian Federation, e-mail: edsverd@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0684-2503>. SVITICH Oxana A. – Corresponding member of the RAS, Director of the Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, Russian Federation; e-mail: svitichoa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1757-8389>. STARODUBOV Vladimir I. – Academician of the RAS, Academician-Secretary of the Department of Medical Sciences, RAS, Moscow, Russian Federation, e-mail: starodubov@mednet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3625-427>. YANKOVSKY Nikolay K. – Academician of the RAS, Research Supervisor of Vavilov Institute of General Genetics, Professor at Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, e-mail: yankovsky@vigg.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2467-2683>.

**ОБЩИЕ ИТОГИ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ
 ОСОБЕННОСТИ ПАНДЕМИИ COVID-19**

В период с 2020 по 2023 г. мир охватила пандемия новой коронавирусной инфекции (COVID-19), оказавшая выраженное воздействие на здравоохранение, социальные и экономические аспекты деятельности государств в мировом масштабе. В пандемию было вовлечено более 190 стран, а к концу 2025 г. в мире было зарегистрировано свыше 778 млн подтверждённых случаев COVID-19 и более 7 млн связанных с ними смертельных исходов (по некоторым оценкам ВОЗ в период с 2020 по 2021 г. количество случаев “избыточной смертности” составило примерно 14.9 млн), что явилось глобальным кризисом в области мирового здравоохранения (рис. 1) [1, 2]. Тяжёлыми медицинскими последствиями пандемии стали случаи постковидного синдрома, развивающегося у 35–80% переболевших COVID-19 [3, 4].

По оценкам Международного валютного фонда, совокупные экономические потери от пандемии к 2024 г. составили 13.8 трлн долл. [5]. Политические последствия пандемии проявились массовыми закрытиями государственных границ, снижением интенсивности внешнеторговых отношений между странами, политической разобщённостью ряда стран. Деловая активность на международном уровне существенно сократилась, рынок труда столкнулся с серьёзными негативными последствиями [6]. Отдельной социальной проблемой во время пандемии COVID-19 стала инфодемия, показавшая уязвимость населения перед неконтролируемым распространением необоснованной информации, усиливавшей общественное беспокойство [7, 8]. Системы здравоохранения большинства стран мира оказались неспособны противостоять “гибридной” пандемии,

и потребовались серьёзные усилия, чтобы переломить негативный ход развития эпидемического процесса.

Возбудитель COVID-19 – вирус SARS-CoV-2, принадлежащий к виду *Betacoronavirus pandemicum* (подрод *Sarbecovirus*, род *Betacoronavirus*, семейство *Coronaviridae*). Представители двух родов данного семейства – альфакоронавирусы (*Alphacoronavirus*) и бетакоронавирусы (*Betacoronavirus*) – способны вызывать заболевания человека и животных. SARS-CoV-2 – оболочечный РНК-вирус, стремительно преодолевший межвидовой барьер и быстро распространившийся среди популяции человека. Вирионы SARS-CoV-2 представляют собой сферические оболочечные сложноустроенные частицы порядка 120 нм в диаметре, содержащие нуклеокапсид, образованный белком N, покрытые липидной мембраной, в которую встроены тримеры вирусного трансмембранного гликопротеина S. В результате на поверхности вириона образуются башнеподобные шипы (spike-like), создающие “корону” вирусной частицы. Также в мембрану встроены мембранный белок M и малый оболочечный белок E. Однако именно белок S играет основную роль на первых этапах взаимодействия вириона с клеткой [9–11].

Пандемия COVID-19 – третья встреча человечества с зооантропонозными коронавирусами в XXI столетии. До возникновения в Азии в 2003–2004 гг. крупной вспышки атипичной пневмонии – тяжёлой инфекции с высокой летальностью, вызванной бетакоронавирусом SARS-CoV, принадлежащим к тому же виду, что и SARS-CoV-2, коронавирусы рассматривались лишь как возбудители лёгких клинических форм острой респираторной вирусной инфекции (ОРВИ) у людей и респираторной или кишечной инфекции у домашних животных. С 2012 г. на территории Аравийского полуострова, в прилегающих странах, а также в резуль-

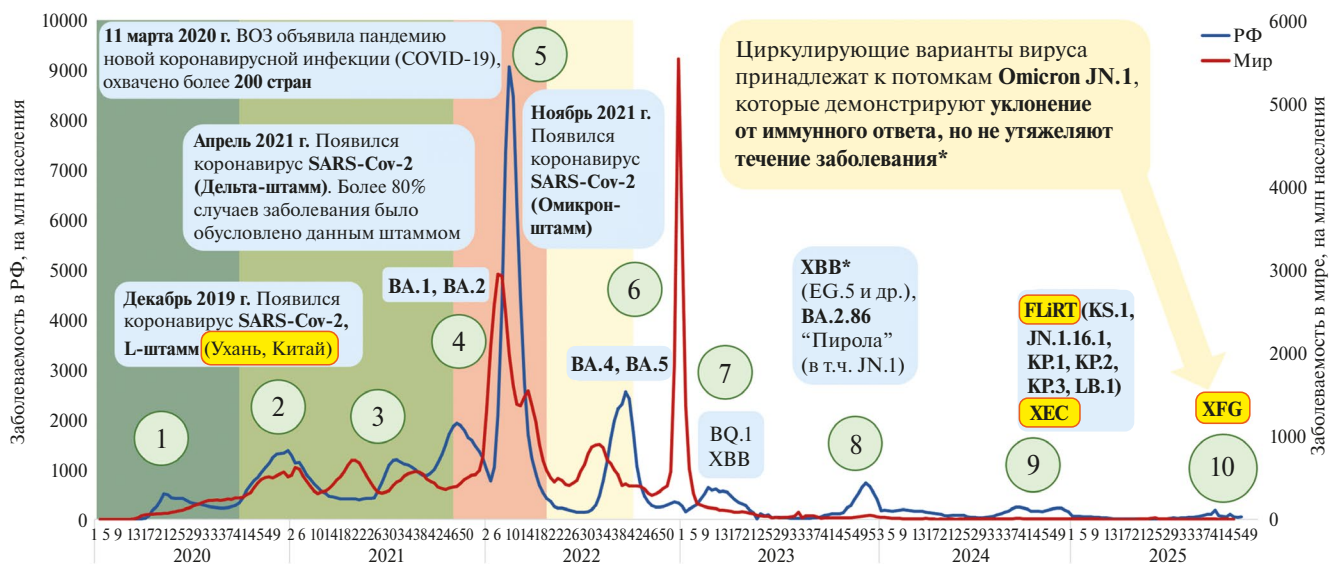


Рис. 1. Динамика заболеваемости COVID-19 в мире, России (в показателях на 1 млн населения) и эволюция вируса SARS-CoV-2 (2020–2025)

Fig. 1. Global and Russian COVID-19 Incidence Dynamics (per 1 million population) and the Evolution of SARS-CoV-2 (2020–2025)

тате заноса вируса в отдалённые государства (например, Корею), начали регистрировать случаи другого тяжёлого заболевания – ближневосточного респираторного синдрома (ББРС, MERS), вызванного новым бетакоронавирусом MERS-CoV, принадлежащим виду *Betacoronavirus cameli* (подрод *Merbecovirus*). Наконец, в 2019 г. произошло проникновение в человеческую популяцию вируса SARS-CoV-2, вызвавшего пандемию COVID-19. Происхождение всех трёх указанных бетакоронавирусов (SARS-CoV, MERS-CoV и SARS-CoV-2) связано с летучими мышами. При этом если при ББРС люди заражаются MERS-CoV от верблюдов, то вопрос о промежуточном хозяине для вирусов SARS-CoV и SARS-CoV-2 остаётся дискуссионным. Хотя у разных животных были найдены близкородственные штаммы, например, у цивет или панголинов, последние исследования показывают, что в популяциях летучих мышей встречаются SARS-подобные вирусы, способные связывать рецептор человека ACE2 без дополнительной адаптации в промежуточном хозяине, поэтому переход этих вирусов в человеческую популяцию мог произойти напрямую от летучих мышей [12, 13].

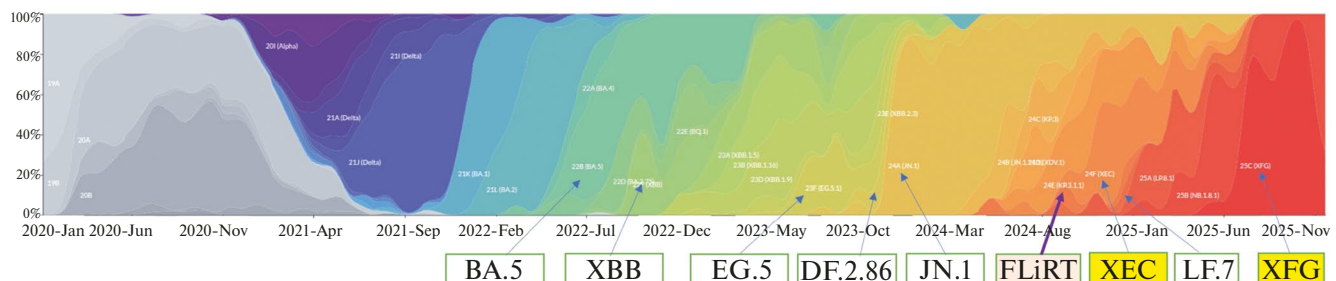
Пандемия наглядно продемонстрировала, что именно биологический фактор, являющийся основной движущей силой развития эпидемического процесса, связан с генетической вариабельностью и другими полидетерминантными характеристиками возбудителя. Этиологический агент новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2, адаптируясь к своим новым хозяевам – людям, подвержен генетической эволюции, что приводит к мутациям в вирусном геноме, которые могут изменять патогенный потенциал вируса. Поскольку сохранение возбудителя как биологического вида невозможно без эволюционного развития, в процессе пандемии происходило расширение диапазона гетерогенности популяции коронавируса за счёт циркуляции как маловирулентных, так и вирулентных вариантов с последующим стабилизирующим отбором и становлением эпидемического варианта [14, 15].

Анализ проявлений эпидемического процесса COVID-19 подтвердил правильность теории саморегуляции биологических систем академика РАН В.Д. Белякова, сформулированной российским учёным в 70–80-е годы прошлого столетия, согласно которой основу эпидемического процесса составляет фазовое изменение гетерогенности биологических свойств взаимодействующих популяций возбудителя и человека с учётом стабилизирующей роли естественного отбора и важного регулирующего значения социальных и природных факторов [14, 15].

Многочисленные мутации, которым подвержены РНК-вирусы на фоне высокой репродуктивной активности, привели к значимой адаптационной изменчивости популяции SARS-CoV-2, обладающей высокой контагиозностью, но умеренной вирулентностью, что обусловлено реализацией возбудителем стратегии выживания в условиях давления нарастающего иммунитета популяции хозяина в ходе эпидемического процесса [16, 17]. Доказательством этого утверждения служит изменение показателей контагиозности генотипов SARS-CoV-2 и обусловленной ими летальностью в 2020–2023 гг. Так, если в период распространения “Уханьского” генотипа SARS-CoV-2 коэффициент контагиозности, по оценкам исследователей, был равен 2–4, с обусловленной им летальностью в 2.3%, то уже в период распространения генотипа “Омикрон” (BA.4, BA.5) показатель контагиозности увеличился до 7–10, а летальность снизилась до 0.4% (рис. 2) [16–20].

После окончания пандемии COVID-19 осталось множество нерешённых научных и практических вопросов, в частности:

- высокие эволюционные возможности популяции SARS-CoV-2: изменчивость генотипов и количества сублиний, изменение биологических свойств возбудителя инфекции, непосредственно влияющих на проявления эпидемического процесса;



Источник: nextrain.org

Штамм	Индекс контагиозности	Летальность
“Уханьский”	2–4	2.3%
“Дельта”	5–8	1.8%
“Омикрон” (BA.1, BA.2)	6–9	0.5%
“Омикрон” (BA.4, BA.5)	7–10	0.4%
	Увеличение контагиозности	Снижение патогенности (вирулентности)

Рис. 2. Изменение биологических и генетических свойств генотипов новой коронавирусной инфекции (2020–2025)

Fig. 2. Evolution of biological and genetic characteristics of genovariants of the Novel Coronavirus Infection (2020–2025)

- значение и роль иммунитета человека в заболеваемости COVID-19: продолжительность постинфекционной и поствакцинальной резистентности, значение гуморального и клеточного иммунитета, роль Т-клеток, специфичность иммунитета и зависимость его от генетических изменений (геновариантов);

- гетерогенность популяции человека: рецепторы ACE2, группы риска (возраст), факторы риска (ожирение, диабет, хронические заболевания, беременность, наследственные и орфанные заболевания и др.), влияющие на развитие COVID-19;

- постковидный синдром, его распространённость и клинические проявления;

- роль и значение популяции животных и экология возбудителя: природные резервуары, межвидовые переходы, реассортация вирусов, оказывающие влияние на эволюцию возбудителей инфекций вирусной этиологии [3, 4, 21, 22].

В настоящее время проблема биологической безопасности чрезвычайно актуальна для всех стран мира в связи с расширением спектра реальных и потенциальных угроз, вызванных воздействием агентов биологической природы, наносящих ущерб здоровью и благополучию общества и окружающей среде. В текущий период времени противодействие этим угрозам – приоритетное направление государственной политики в Российской Федерации. Так, Президент РФ В.В. Путин в обращении к участникам и организаторам III Международной научно-практической конференции “Глобальные угрозы биологической безопасности. Проблемы и решения” (г. Сочи, 23 июня 2021 г.) отметил: “В современных условиях обеспечение биологической безопасности является весьма актуальной задачей, решение которой невозможно без объединения усилий всего международного сообщества. Это в полной мере подтвердила пандемия коронавирусной инфекции... Очевидно, что эффективное противостояние угрозам биологического характера требует самого тесного взаимодействия профильных государственных ведомств, научных и медицинских сообществ” [23].

В ноябре 2022 г. ВОЗ запустила новую Глобальную программу приоритизации патогенов. Обновлённый подход предполагает использование научных методов с целью повышения готовности к предстоящим вспышкам, чрезвычайным ситуациям в области общественного здравоохранения, имеющим международное значение, и пандемиям. Основное внимание должно уделяться исследованиям вирусных и бактериальных семейств, а не отдельных патогенов, которые, по мнению международных экспертов, представляют глобальные риски. В международном процессе приоритизации патогенов приняли участие более 200 учёных из более чем 50 стран, которые оценили доказательств, касающиеся 28 вирусных семейств и одной основной группы бактерий. В этой связи 9–10 мая 2024 г. было организовано совещание по приоритизации патогенов, которое стало кульминацией процесса и предоставило возможность окончательного обмена результатами по различным вирусным и бактериаль-

ным семействам и по разработке стратегии действий на будущее. Такой подход, отдавая приоритет исследованиям целых семейств патогенов, а не их отдельным представителям, повышает способность исследователей эффективно реагировать на появление новых непредвиденных вариантов возбудителей, на зоонозные передачи и новые неизвестные угрозы, такие как “патоген X” [24].

Понимание того, что начало следующей пандемии – это лишь вопрос времени, побудило руководство ВОЗ организовать 1 апреля 2025 г. встречу с представителями государств-членов ВОЗ, посвящённую разработке Соглашения по борьбе с пандемиями. Соглашение стало ответом на пандемию COVID-19, которая выявила недостатки в глобальных системах здравоохранения и вопиющее неравенство в доступе к диагностике, лечению и вакцинам [25]. Работа над соглашением продолжается, его проект обсуждался на третьем заседании Межправительственной рабочей группы, состоявшемся 3–7 ноября 2025 г. в Женеве. Окончательный вариант документа будет представлен на рассмотрение 79-й сессии Всемирной ассамблеи здравоохранения в 2026 г. После его принятия может начаться процесс одобрения соглашения национальными парламентами [26].

Сегодня ВОЗ относит к основным биологическим угрозам следующие факторы:

- появление новых инфекций, вызываемых неизвестными патогенами;
- преодоление микроорганизмами межвидовых барьеров в сочетании с возникающими под воздействием внешней среды изменениями генотипа и фенотипа организма человека и животных;
- распространение антимикробной резистентности;
- распространение вновь возвращающихся инфекционных болезней и распространение инфекций на ранее не эндемичных территориях;
- осложнение эпидемиологической ситуации по особо опасным инфекциям бактериальной и вирусной природы, требующим постоянного внимания [27, 28].

В современном мире вопросы чрезвычайных ситуаций в области биобезопасности изучаются с применением современных достижений науки. Технологии, позволяющие редактировать геном с помощью программируемых нуклеаз, включая CRISPR, дают возможность проводить точную генетическую модификацию клеток организмов и теоретически могут быть использованы для разработки нового, ещё более опасного, биологического оружия. Применение методов геномной инженерии, синтетической биологии и искусственного интеллекта позволяет создавать изменённые и новые патогенные микроорганизмы и вирусы. Синтетическая биология предоставляет уникальные возможности для конструирования биомолекул и живых систем, но также открывает доступ к потенциально опасным исследованиям. Комбинация инструментов искусственного интеллекта (ИИ), биоинженерии и синтетической биологии позволяет практически автономно, с минимальным участием человека, проводить проектирование, синтез и испы-

тание новых биоактивных соединений и конструкций различного назначения. Использование такого типа систем создаёт значительные риски глобальной биобезопасности и биозащиты. Объединение возможностей ИИ с методами и подходами биоинженерии и синтетической биологии в единый производственный комплекс — новый вызов цивилизации, который требует чёткой и взвешенной реакции [29].

Таким образом, для предотвращения дальнейших пандемий необходимо:

- изучать генетические свойства известных вирусов;
- проводить мониторинг и поиск новых возбудителей инфекционных болезней человека;
- совершенствовать методы, возможности и качество диагностики;
- внедрять и реализовывать геномный эпидемиологический надзор;
- создавать современные вакцины;
- исследовать особенности и роль гуморального и клеточного иммунитета;
- изучать геном человека и искать генетические, эпигенетические и клеточные механизмы противодействия инфекциям [30].

ГЕНОМНЫЙ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР

Глобальная стратегия геномного эпидемиологического надзора, разработанная ВОЗ с учётом предыдущего опыта и уроков пандемии COVID-19 на 2022–2032 гг., рассматривает значимую роль геномики в системе общественного здравоохранения и направлена на мобилизацию усилий в области геномного надзора за всеми патогенами, несущими пандемическую или эпидемическую угрозу, путём укрепления всех лабораторий, выполняющих геномное секвенирование, и объединения их в глобальную сеть. Цель Стратегии геномного эпидемиологического надзора — выработка единой концепции использования геномики в качестве мощного дополнительного инструмента для решения задач общественного здравоохранения по обеспечению готовности и осуществлению мер реагирования на пандемии и эпидемии самого широкого спектра. Геномный эпидемиологический надзор позволяет осуществлять мониторинг заболеваний и проводить контроль за патогенами, реализовывать меры вмешательства и рекомендации для населения, разрабатывать средства защиты, например вакцины, и искоренять инфекционные болезни [27, 31, 32].

Россия — одна из передовых стран по реализации геномного эпидемиологического надзора. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 23.03.2021 № 448 “Об утверждении Временного порядка предоставления данных расшифровки генома возбудителя новой коронавирусной инфекции (COVID-19)” для обеспечения быстрой оценки динамики распространения известных и новых геновариантов SARS-CoV-2, циркулирующих на территории страны, специалистами ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора была разработана и внедрена

Российская платформа агрегации данных о геномах вирусов (Virus Genome Aggregator of Russia — VGARus), которая содержит информацию о нуклеотидных последовательностях коронавирусов и их мутациях. Программное обеспечение, интегрированное в платформу VGARus, позволяет анализировать результаты секвенирования, определять вероятный геновариант вируса, формировать стандартизированные отчёты, загружать информацию об образцах, предназначенных для дальнейшего секвенирования. В настоящий момент к платформе VGARus подключено более 150 научных учреждений различной ведомственной принадлежности, в том числе более 80 секвенирующих организаций, передача информации от которых производится по защищённым каналам связи.

VGARus — национальная платформа агрегирования данных геномных последовательностей возбудителей инфекционных болезней, благодаря которой решаются задачи геномного эпидемиологического надзора и российской науки, особенно в условиях нарастающих биологических угроз. База данных VGARus, содержащая большой набор последовательностей SARS-CoV-2, в настоящее время представляет собой неоценимый отечественный научный ресурс для отслеживания, оценки и прогнозирования развития эпидемиологической обстановки по более чем 100 патогенам, включая SARS-CoV-2. По состоянию на январь 2026 г. в базу данных VGARus загружено более 450 тыс. геномов (из них 270 тыс. полные) возбудителей инфекционных заболеваний, в том числе SARS-CoV-2 — более 365 тыс. (240 тыс. — полные) (рис. 3).

Методологическое лидерство Российской Федерации в области геномного эпидемиологического надзора позволяет:

- проводить молекулярно-генетический мониторинг и анализ нуклеотидных последовательностей возбудителей социально-значимых и особо опасных инфекционных болезней;
- изучать эволюцию патогенов, осуществлять мониторинг появления и распространения новых геновариантов, устойчивость патогенов к используемым лекарственным препаратам;
- формировать научно обоснованные рекомендации для разработки противозидемических мероприятий, создания новых диагностических комплексов и вакцинных препаратов;
- прогнозировать появление новых патогенов с высоким эпидемическим и пандемическим потенциалом распространения.

Последовательное развитие платформы VGARus создаёт уникальную инфраструктуру в сфере биологической безопасности страны и обеспечивает надзор за процессами, которые происходят в области науки и технологий по борьбе с инфекционными угрозами, позволяя актуализировать собственные инструменты контроля, анализа и прогноза эпидемиологической ситуации в Российской Федерации и в мире [30].

Изучение генома человека и эпигенетических основ экспрессии генов — важнейшие тенденции научного поиска в целях обеспечения иммунологической

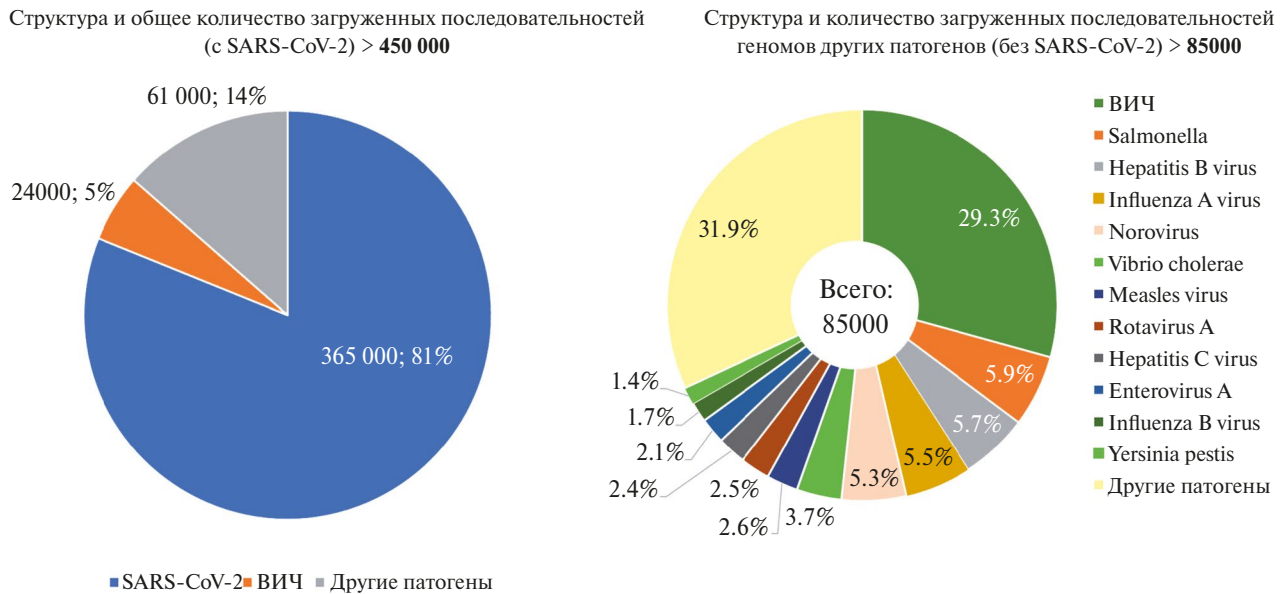


Рис. 3. VGARus – загруженные последовательности геномов различных патогенов (2021–2025)
Fig. 3. VGARus – deposited genome sequences of various pathogens (2021–2025)

защиты населения и специфической профилактики инфекционных болезней человека. Эпигенетика становится значимым научным трендом в системе биобезопасности страны, обеспечивая профилактику и контроль за возникающими инфекционными угрозами. Эпигенетика – это направление современной генетики, изучающее изменения активности генов, которые не затрагивают саму последовательность нуклеотидов молекулы ДНК [30].

В геноме человека почти 20 000 генов. Набор генов во всех клетках человека одинаков, однако клетки функционально разные, поскольку в каждой работает свой набор генов, а остальные “молчат”. Вирусный агент умеет менять экспрессию генов таким образом, чтобы обеспечить размножение вирусных частиц. Последствия подобных изменений зависят от штамма вируса, генетических и иммунных особенностей организма человека. SARS-CoV-2, например, включает и выключает гены человека, вызывая не мутации, а временные изменения структуры и функции одного из нуклеотидов – модификации ДНК в экспериментально определяемых позициях генома человека. Вирус удаляет или “навешивает” метильную группу (СН3) на нуклеотид цитозин в определённых позициях генетического текста, кратковременно включая или выключая у человека группы генов. При выздоровлении активность генов возвращается к нормальному уровню [30, 33–35].

По анализу ДНК клеток крови заболевшего можно с определённой вероятностью диагностировать любое заболевание, установить тип возбудителя и его вариант, вероятный исход заболевания как природного, так и лабораторного происхождения. Для этого нужно определить и сравнить направление и уровень модификации (метиляции) каждого гена у здоровых и инфицированных индивидов [34, 35]. Поло-

жение всех метильных групп (СН3) на ДНК человека, изменённое после инфекции, можно определить с помощью созданной в Российской Федерации технологии. Разрабатываемая в Институте общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН технология анализа основана на ферментативной базе (фермент Glal) отечественного производства, что обеспечивает интеллектуальные права Российской Федерации. При редактировании набора мРНК (транскриптома) человека с целью создания средств терапии и профилактики инфекционных болезней необходимо выявить именно ту часть транскриптов-мишеней для их разрушения, которая жизненно необходима только данному вирусу для его развития, формирования дочерних частиц и их передачи следующему индивиду, и избежать поражения тех молекул мРНК, которые активированы организмом для самозащиты от инфекции и последующего выздоровления [36, 37].

Благодаря редактированию набора мРНК (транскриптома) можно разрабатывать новые методы диагностики, терапии и профилактики инфекционных болезней. Блокирование размножения вируса даёт время иммунной системе наработать специфические антитела и обеспечить более лёгкое течение заболевания и быстрое выздоровление [38].

Таким образом, внедрение геномного эпидемиологического надзора в практику позволяет:

- проводить эпидемиологические исследования;
- разрабатывать и оценивать эффективность диагностических тестов;
- вести мониторинг эволюции патогенов;
- создавать эффективные вакцины;
- определять лекарственную устойчивость и разрабатывать эффективные протоколы лечения;

- создавать генотерапевтические препараты;
- обеспечить профилактику потенциальных зоонозов (изучение межвидовых переходов);
- прогнозировать появление новых патогенов с высоким эпидемическим и пандемическим потенциалом распространения;
- оценивать эффективность профилактических мер [30].

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В РЕШЕНИИ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ И ОБЕСПЕЧЕНИИ БИОБЕЗОПАСНОСТИ

Пандемия COVID-19 наглядно продемонстрировала важность эпидемиологии как общемедицинской системной науки, имеющей собственный уникальный эпидемиологический метод анализа, а также её научно-практическую значимость для здоровья миллиардов людей во всём мире. Активное развитие вычислительных технологий и задачи, возникшие перед системой эпидемиологического надзора в период пандемии COVID-19, создали предпосылки к стремительному развитию процесса цифровой трансформации в эпидемиологии. Её технологической основой стали разработанные в ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора программные платформы:

- Национальная платформа агрегирования данных геномных последовательностей возбудителей инфекционных болезней (VGARus);
- Платформа мониторинга и анализа сведений о результатах исследований населения РФ на наличие возбудителя новой коронавирусной инфекции (SOLAR);
- Аналитическая платформа для оперативного и ретроспективного эпидемиологического анализа обстановки по новой коронавирусной инфекции (EpidSmart) [39, 40].

В рамках реализации Постановления Правительства РФ № 452 от 27.03.2021 «Об обеспечении уведомления физических лиц о результатах исследований на наличие возбудителя новой коронавирусной инфекции (COVID-19) с использованием федеральной государственной информационной системы “Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)” и обмена информацией о результатах таких исследований» специалистами ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора в 2020 г. создана платформа мониторинга и анализа сведений о результатах исследования на наличие возбудителя новой коронавирусной инфекции SOLAR (“System of laboratory aggregation results”), ставшая одним из первых системных проектов цифровизации в области медицины.

Благодаря SOLAR медицинские организации могут передавать по защищённым каналам связи сведения о результатах тестирования на COVID-19 (ПЦР-диагностика и исследования на антитела к возбудителю инфекции) в информационную систему “Единый портал государственных и муниципальных услуг”. Среднее время передачи информации о результатах исследования до получения её обследуемым – 20 мин (рис. 4). [39, 40]. Это уникальное решение

позволяет систематизировать и изучать получаемые данные, что способствует эффективному мониторингу и анализу эпидемиологической ситуации в стране.

В настоящее время к платформе подключено более 2 000 организаций, проводящих ПЦР-тестирование в Российской Федерации, загружено более 200 млн результатов ПЦР-исследований на коронавирусную инфекцию и ИФА-исследований на антитела к SARS-CoV-2. Эти данные используются для повышения точности, информативности эпидемиологического надзора и прогноза эпидемической ситуации по COVID-19.

Разработка и реализация SOLAR – это не только шаг в реализации программы импортозамещения в области IT-технологий, но и важный инструмент для обеспечения эпидемиологического благополучия и биобезопасности страны.

Платформа SOLAR позволяет:

- агрегировать сведения о доле положительных результатов, а также о возрастной структуре обследованных лиц в течение двух часов после получения результатов лабораторных исследований, что значительно опережает сведения о количестве заболевших, поступающие в виде отчётных форм;
- характеризовать активность лабораторного подтверждения случаев заражения и этиологическую расшифровку, проводимую органами здравоохранения во всех регионах;
- проводить гибкое масштабирование за счёт подключения к системе новых организаций и расширения перечня агрегируемых лабораторных исследований [39, 40].

Расширение платформы SOLAR для сбора данных и агрегации сведений о возбудителях других инфекционных болезней (например, грипп и прочие ОРВИ, ВИЧ-инфекция, вирусные гепатиты) – важный шаг в направлении улучшения системы выявления и контроля инфекций в Российской Федерации. Развитие платформы позволит проводить более полный комплексный анализ результатов лабораторных исследований, молекулярно-генетического мониторинга и показателей здоровья населения, в том числе с использованием методов машинного обучения.

Платформа для анализа больших массивов эпидемиологических данных и прогнозирования эпидемического процесса (EpidSmart) используется в системе эпидемиологического надзора за COVID-19, вирусными гепатитами и другими инфекциями. Программное решение обеспечивает функционирование всех подсистем эпидемиологического надзора на базе единой аналитической платформы, что повышает точность исследований и прогноза эпидемиологической обстановки по инфекционной заболеваемости на всей территории Российской Федерации. EpidSmart агрегирует постоянно обновляемые сведения о проявлениях эпидемического процесса из отчётных форм Роспотребнадзора, результатов молекулярно-генетического мониторинга изменчивости возбудителя на основе геномов, загружаемых на платформу VGARus, а также результатов лабораторных исследований по

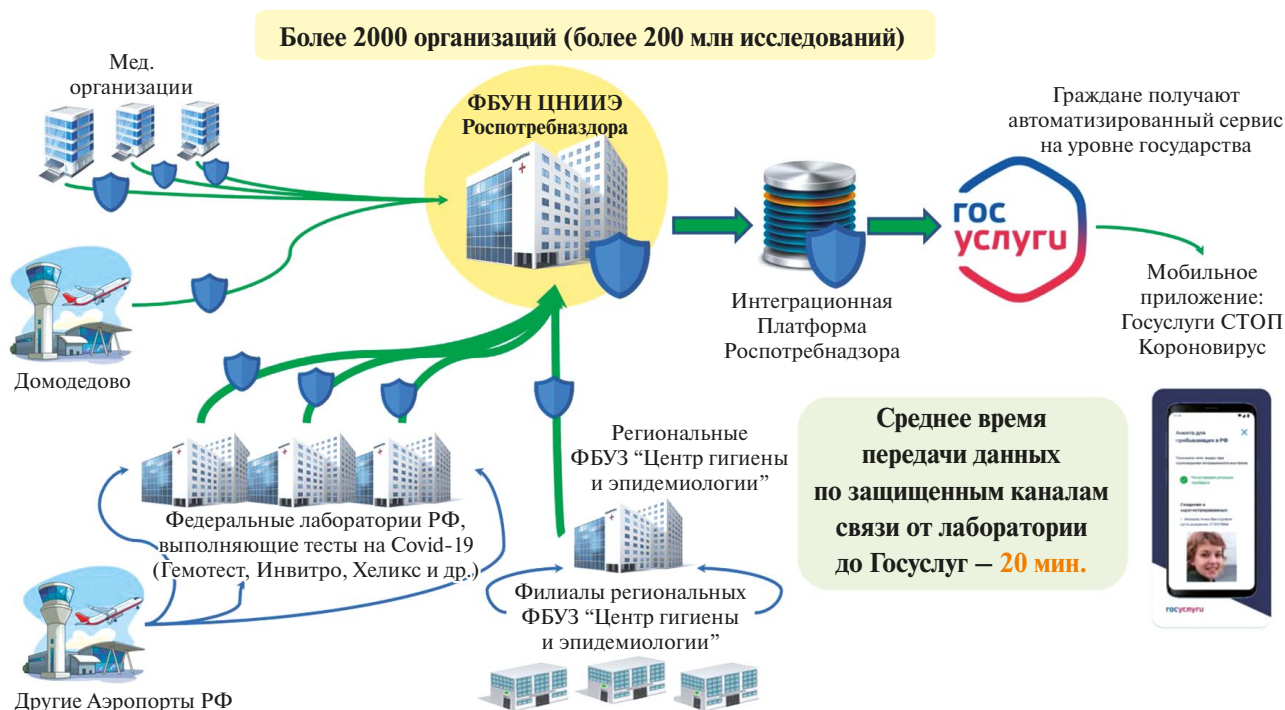


Рис. 4. SOLAR – визуализация схемы взаимодействия
 Fig. 4. SOLAR – Visualization of the interaction scheme

выявлению возбудителей инфекционных болезней, вносимых на платформу SOLAR. В настоящее время в EpidSmart загружено и анализируется более 1.7 млрд постоянно обновляемых показателей о проявлениях эпидемиологического процесса по различным инфекциям в России и в мире, более 450 тыс. результатов молекулярно-генетического мониторинга и 200 млн результатов лабораторных исследований [39, 40].

Платформа EpidSmart обладает следующими преимуществами:

- предоставляет единую точку доступа к сведениям эпидемиологического характера и необходимым справочным данным;
- устраняет проблему различия форм представления информации в используемых источниках;
- освобождает эпидемиологов от необходимости предварительной обработки и структурирования данных;
- объединяет сведения из большого количества разных источников, рассчитывает статистические показатели автоматически, без участия исследователя;
- формирует акцент в представлении данных как на элементах визуализации, так и в виде таблиц [39, 40].

Для обеспечения непрерывной работы, развития и поддержки баз данных и программ ЭВМ, высоконагруженных вычислений и анализа в ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора используются три суперкомпьютера (с суммарной вычислительной мощностью 24 терафлопса), при этом суммарный объём обрабатываемой или хранимой информации, которая

размещается на собственных серверах и в облачных хранилищах, достигает 1.6 петабайт. Серверы расположены на шести собственных геораспределённых дата-центрах, что обеспечивает бесперебойную работу и высокую отказоустойчивость сервисов [40].

Цифровая трансформация представляет собой ключевое направление в современной эпидемиологии, обладающее значительным потенциалом с точки зрения улучшения параметров общественного здравоохранения. За период 2018–2025 гг. в институте разработано 25 баз данных эпидемиологической информации, на которые получено 91 свидетельство о государственной регистрации в Роспатенте, и 193 программы для ЭВМ, которые также зарегистрированы в Роспатенте [40].

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Своевременная и точная диагностика инфекционных болезней в сжатые сроки – важнейшее условие эпидемиологического благополучия населения, а также критерий оценки влияния биологических угроз на общественные отношения в части экономических, социальных и политических последствий. В настоящий момент активно развиваются новые направления в диагностике возбудителей инфекционных болезней, такие как изотермическая амплификация (LAMP) и FAST PCR, позволяющие проводить ускоренную идентификацию патогена. При этом метод ПЦР с обратной транскрипцией не теряет своей актуальности и остаётся “золотым стандартом” молекулярной диагностики.

Использование современных технологий выявления и изучения возбудителей — CRISPR/Cas-редактирование, высокопроизводительное секвенирование (NGS), метагеномное, таргетное секвенирование, иммуносеквенирование, протеомные исследования и др. — позволяют разрабатывать инновационные методы диагностики с целью одновременной идентификации множества патогенов, в том числе и единичных копий генома возбудителя.

В разгар пандемии COVID-19 Президент РФ В.В. Путин в послании Федеральному собранию РФ 21 апреля 2021 г. отметил критическую важность своевременной диагностики возбудителей инфекционных болезней: “Первое. У нас должен быть мощный и надёжный щит в сфере санитарной и биологической безопасности. Мы понимаем теперь, что это такое. Нужно обеспечить независимость России в производстве всего спектра вакцин, субстанций для фармацевтики, в том числе лекарств против инфекций, устойчивых к нынешнему поколению антибиотиков. Причём сделать это надо с максимальным использованием российского оборудования и отечественных компонентов. В случае появления новой инфекции... Россия должна быть готова в течение четырёх дней, именно в течение четырёх дней, разработать собственные тест-системы и в самое короткое время создать эффективную отечественную вакцину и приступить к её массовому производству. Эти задачи мы ставим перед собой. Для достижения этих задач определяем период — к 2030 году, но чем раньше мы это сделаем, тем лучше” [41]. По поручению Президента РФ разработан и с 2021 г. реализуется Федеральный проект “Санитарный щит страны — безопасность для здоровья (предупреждение, выявление, реагирование)”, цель которого — развитие проактивной и устойчивой системы предупреждения, профилактики, выявления и реагирования на угрозы биологической безопасности и сохранение санитарно-эпидемиологического благополучия населения страны [42].

Сегодня ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора — крупнейший государственный производитель наборов ПЦР-диагностики в Российской Федерации. Институт производит более 250 наборов реагентов для ПЦР-диагностики широкого спектра инфекционных патогенов (более 430 форм выпуска), зарегистрированных в России и за рубежом. Производственные мощности института по выпуску всего ассортимента продукции в обычном режиме составляют до 1 млн наборов в год (100 млн определений). В сложной эпидемиологической обстановке выпуск продукции может быть увеличен для отдельных номенклатурных единиц по определённой нозологии в 5–6 раз, для всего ассортимента продукции в 2–3 раза, при этом общий объём выпускаемой продукции может составить более 2–3 млн наборов в год (200–300 млн определений). В период пандемии COVID-19 объём производства был увеличен в 6 раз, а по отдельным наборам реагентов — в 40 раз!

Технологическую базу научно-производственного комплекса ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора составляют:

- система реакторов для автоматизации процессов приготовления растворов реагентов;

- система ферментеров для получения биомассы микроорганизмов с заданными свойствами;
- технологическая линия промышленных плоттеров для печати иммуночипов;
- современные технологические линии для автоматического розлива и укупорки реагентов во флаконы и микропробирки;
- современные лиофильные установки;
- технологические линии для автоматической этикетировки производимой продукции.

В институте разработаны и выпускаются все ключевые компоненты ПЦР-наборов (специфические праймеры и зонды, ферменты, контрольные образцы, наборы для экстракции ДНК/РНК), что позволило впервые в России создать полный замкнутый цикл производства данной высокотехнологичной продукции.

Новое направление в выявлении инфекционных болезней — ускоренная диагностика на базе технологии изотермической амплификации нуклеиновых кислот (LAMP). Она характеризуется повышенной скоростью анализа (25–30 минут) и сопоставимыми уровнями чувствительности (98–100%) и специфичности (98–100%). Основой для создания наборов реагентов, позволяющих проводить оперативную диагностику, стала разработка отечественной ферментной базы и технологии получения отечественной Bst-полимеразы, не уступающей по своим свойствам западным аналогам, а также создание в рамках производства собственного отдела олигосинтеза.

Институт успешно масштабировал технологию LAMP с использованием собственной Bst-полимеразы: общий объём выпущенных реагентов только для диагностики SARS-CoV-2 составил более 3.3 млн исследований. На конец 2025 г. разработаны и находятся в разработке 30 наборов реагентов (получены регистрационные удостоверения — 13, в разработке — ещё 5) для выявления различных инфекций. Так, впервые в России зарегистрированы наборы реагентов на основе LAMP для выявления *M. tuberculosis complex*, сальмонелл, малярии, вируса кори, *Candida auris*, *Aspergillus niger*, вирусов гепатита В и гепатита С. При этом пять последних — первые в мире тест-системы, созданные на основе LAMP и зарегистрированные в качестве тестов для диагностики *in vitro*. За разработку, создание и массовый промышленный выпуск данных тест-систем коллектив института в 2025 г. был удостоен Премии Правительства РФ в области медицинской науки (Распоряжение Правительства РФ от 21.10.2025 № 2939-р).

В настоящее время на базе ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора разработан и производится широкий спектр ферментов для различных методов амплификации нуклеиновых кислот:

- Taq-полимераза — применяется в ПЦР-РПВ;
- синтез цепи ДНК на матрице ДНК;
- TaqA-полимераза — для быстрых ПЦР тестов (FAST PCR), содержит олигонуклеотидный аптамер;
- ревертаза (MMLV) — применяется в ОТ-ПЦР;

- синтез цепи кДНК на матрице РНК (обратная транскрипция);

Bst-полимераза — для петлевой изотермической амплификации (LAMP), по уровню активности сопоставима с ферментом Bst 2.0 фирмы NEB (США), по цене — в 50–70 раз дешевле;

- урацил-ДНК-гликозилаза — для предотвращения контаминации лаборатории продуктами реакции амплификации;

- протеиназа К — используется в наборах для выделения нуклеиновых кислот.

На базе института впервые разработана и производится новая TaqA-полимераза с олигонуклеотидным аптамером, позволяющая создавать быстрые тест-системы на основе ускоренной ПЦР с детекцией в режиме реального времени (FAST PCR) и возможностью мультиплексирования. На основе FAST PCR планируется создать быстрые тесты для оперативной диагностики инфекционных болезней. В настоящее время ведётся разработка двух наборов реагентов: для выявления гепатита А и одновременного выявления гепатита А и Е.

Впервые в Российской Федерации создана отечественная технологическая платформа по производству компонентов системы CRISPR/Cas, обеспечивающая стране технологическую независимость и позволяющая внедрять технологии генетического редактирования для разработки медицинских изделий ультрачувствительной диагностики инфекционных патогенов (единичные клетки и копии ДНК), создания генотерапевтических лекарственных препаратов нового поколения, средств индикации и идентификации патогенных биологических агентов. Платформа позволила организовать высокотехнологичное производство отечественных белков для CRISPR/Cas-редактирования на территории Российской Федерации. Выпуск продукции осуществлён на базе ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора в количестве, достаточном для удовлетворения всех потребностей российских учёных, занимающихся фундаментальными и прикладными разработками в области редактирования генома. Отечественные белки CRISPR/Cas (10 наименований) полностью замещают весь спектр импортных образцов, а выпускаемая продукция сопоставима по своим характеристикам с лучшими аналогами ведущих зарубежных производителей, но существенно ниже их по себестоимости.

Специалистами института разработана технология выявления единичных копий нуклеиновых кислот возбудителей инфекционных болезней человека. Технология, основанная на CRISPR/Cas детекции, позволяет ультрачувствительно выявлять ДНК или РНК в образцах после предварительной амплификации. Технология апробирована на ДНК/РНК ВИЧ-1, РНК SARS-CoV-2, ДНК вируса Джона Каннингема, ДНК вируса гепатита В, РНК вируса гепатита С, генов антибиотикоустойчивости синегнойной палочки (blaVIM-2, ehoU), золотистого стафилококка (mecA) и БЛРС-продуцирующих бактерий (blaTEM-1B, blaOXA-1, blaNDM-1). Получены 33 патента Россий-

ской Федерации, опубликовано 7 международных заявок на патент по системе PCT.

Накопленный опыт позволил создать платформенное решение (универсальный набор реагентов), которое ускорит внедрение в различные области медицины и здравоохранения генетических технологий для создания высокочувствительных тест-систем с применением белков CRISPR/Cas (единичные копии нуклеиновых кислот в реакции) для диагностики особо опасных и социально значимых инфекционных болезней, а также онкологических, орфанных и аутоиммунных заболеваний.

Важное дополнение традиционных методов в системе эпидемиологического надзора — высокопроизводительное секвенирование (NGS), которое предоставляет полную детальную информацию о патогенах. NGS, набирающее популярность для диагностики и контроля вирусных инфекций, предлагает значительно больший объём геномных данных, а значит, можно определять не только наличие возбудителя, но и анализировать его мутации. Применение методов высокопроизводительного секвенирования (NGS) позволяет:

- выявлять этиологический фактор (детектирование);
- исследовать релевантные локусы (характеризация);
- устанавливать филогенетические связи возбудителей инфекций;
- проводить сборку полного генома анализируемого возбудителя инфекции;
- исследовать и вести мониторинг изменчивости патогенов;
- изучать пути перемещения источников инфекции, локализовывать эпидемические вспышки;
- вести подбор и конструирование вакцинных препаратов;
- обнаруживать неизвестные ранее патогены.

Метагеномное секвенирование в современной диагностике инфекционных заболеваний представляет собой комплексный подход, позволяющий анализировать весь генетический материал в исследуемом образце без предварительного культивирования микроорганизмов. Применение методов метагеномного секвенирования делает возможным выявление неизвестных патогенов в сложных биологических образцах, включая случаи, когда традиционные методы диагностики неэффективны.

Среди всех подходов к секвенированию патогенов в последнее время наиболее часто используется ампликонное (таргетное) секвенирование, увеличивающее количество специфичных прочтений патогенов благодаря предварительной ПЦР-амплификации участков их геномов. Ампликонное секвенирование может быть использовано в сочетании с мультиплексной ПЦР, что существенно расширяет спектр одновременно идентифицируемых патогенов и обеспечивает высокую пропускную способность анализа, а также снижение финансовых и временных затрат.

В ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора впервые в России разработана методика выявления

широкого спектра вирусных патогенов, преимущественно являющихся возбудителями острых респираторных инфекций. Разработка представляет мультиплексную праймерную панель для ПЦР-амплификации коротких консервативных участков геномов 28 вирусных патогенов. Главная задача панели – быстрая идентификация максимального количества разнообразных вирусных патогенов (рис. 5). Ключевая особенность методики – широкий спектр выявляемых вирусов и возможность проведения массового параллельного скрининга клинических образцов. Разработанная “мультиплексная” праймерная NGS-панель представляет эффективный инновационный инструмент для идентификации вирусных патогенов, объединяющий высокую скорость, универсальность и экономичность. Её применение открывает новые возможности NGS-технологий для реализации геномного эпидемиологического надзора в Российской Федерации.

Таким образом, развитие методов молекулярной диагностики инфекционных болезней позволяет:

- повысить чувствительность и пределы детекции молекулярных методов до 1–10 коп/реакции;
- развивать быстрые методы изотермической амплификации;
- создавать тесты с возможностью визуальной детекции (point-of-care), методов диагностики на основе биосенсоров, микрофлюидики, цифровой ПЦР, апта-сенсоров;
- совершенствовать технологии диагностики на основе CRISPR/Cas;
- применять биочипы для детекции ДНК, РНК и технологии мультиплексирования;
- сократить время исследования классической ПЦР (FAST PCR) за счёт применения высокоактивных и высокопроцессивных ферментов.

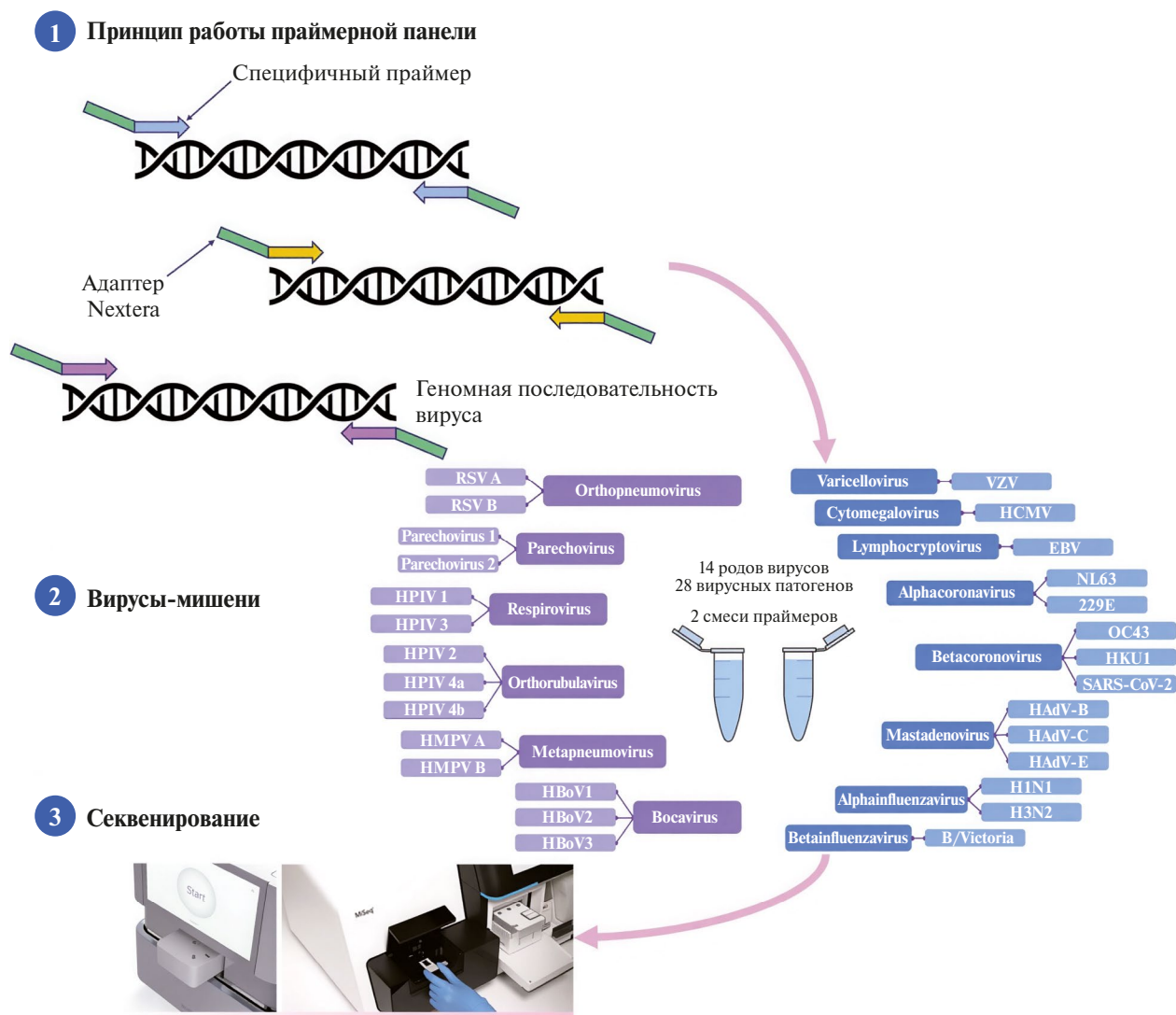


Рис. 5. Праймерная панель в формате “мультиплекс” для идентификации широкого спектра вирусных возбудителей респираторных заболеваний с использованием технологий NGS

Fig. 5. A multiplex primer panel for broad-spectrum identification of viral respiratory pathogens using NGS technologies

В настоящее время институт обладает значительным потенциалом для разработки технологических решений, обеспечивающих эффективное получение геномных данных патогенов. Основные направления работы включают:

- разработку панелей для амплификации и/или гибридации с целью получения полногеномных и таргетных данных о вирусах и патогенных микроорганизмах, адаптированных под отечественные платформы секвенирования;
- дизайн и синтез праймеров и зондов для панелей, ориентированных на конкретные группы патогенов;
- разработку наборов для выделения и очистки нуклеиновых кислот;
- создание ревертазы и полимеразы для обратной транскрипции и амплификации ДНК;
- интеграцию решений с биоинформационными системами для автоматического анализа данных секвенирования и идентификации возбудителя.

УРОКИ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПАНДЕМИИ COVID-19 ДЛЯ ОБЩЕСТВА

Пандемии оказывают масштабное влияние на общество, затрагивая экономику, здравоохранение, социальные отношения, образование, психологию и другие сферы, представляя глобальную угрозу человечеству. В случае COVID-19 эти последствия имели как краткосрочный, так и долгосрочный характер, формируя новые тренды и вызовы в жизни мирового сообщества. Политические последствия пандемии COVID-19 проявились в существенном снижении политической активности стран, нарушении внешнеэкономических связей и массовом закрытии государственных границ (в частности, суммарный спрос на авиаперелёты в 2020 г. снизился на 65.9% по сравнению с 2019 г.) [43]. Внешнеторговые отношения между странами значительно ухудшились, что привело и к их политической разобщённости. Аналитики ООН по промышленному развитию (ЮНИДО) отмечали в 2021 г., что производство почти во всех странах резко сократилось (начиная с апреля 2020 г.), причём диапазон сокращения составил от 10 до 65% [44].

Экономический кризис, вызванный пандемией COVID-19, оказал разрушительное воздействие на мировую экономику. По данным Всемирного банка, мировой ВВП только в 2020 г. снизился на 3.2–3.4%, что привело к потере более 2 трлн долл. США [45, 46]. В глобальном масштабе прямые медицинские расходы, связанные с COVID-19, составили 2.73% расходов на здравоохранение и 0.25% ВВП. Косвенные затраты, связанные с COVID-19, выросли до 10.53% мирового ВВП, а общие расходы на борьбу с пандемией в этот период достигли 86% от расходов на здравоохранение [47]. Международный валютный фонд оценил совокупные экономические потери от пандемии к 2024 г. в 13.8 трлн долл. США, что отражает масштабное сокращение экономической активности, вызванное мерами по сдерживанию распространения вируса SARS-CoV-2 (локдауны, ограничения на передвиже-

ние и работу предприятий), нарушением глобальных цепочек поставок, снижением потребительского спроса и другими факторами [5]. Пандемия отбросила на десятилетия прогресс в достижении Целей устойчивого развития ООН во всех областях [48].

Психологическое воздействие пандемии на общество оказалось не менее серьёзным. Период борьбы с COVID-19 сопровождался явлением инфодемии — неконтролируемым распространением информации, которая усиливала общественное беспокойство. Длительная самоизоляция населения привела к развитию патологического страха, тревожности и подозрительности. У людей формировались нездоровые поведенческие паттерны, что требовало специальных мер по психологической поддержке. По данным ВОЗ, после пандемии COVID-19 пациентов с тревожными и депрессивными расстройствами стало на 25% больше [49].

Медицинские последствия пандемии проявились в развитии постковидного синдрома у 35–80% переболевших COVID-19. Как правило, синдром развивается у лиц с подтверждённой инфекцией, а также у лиц с подозрением на коронавирусную инфекцию в течение трёх месяцев от момента заболевания. Он характеризуется наличием симптомов на протяжении не менее 2 месяцев и невозможностью их объяснения альтернативным диагнозом. Особенно подвержены этому синдрому пациенты, проходившие лечение в стационарах (54% от числа лечившихся в них) и отделений интенсивной терапии (73.8%). Наиболее распространёнными симптомами стали хроническая усталость (23%) и нарушения памяти (14%) [3, 4, 50, 51].

Для предотвращения и минимизации последствий будущих пандемий необходимо осуществлять комплекс государственных, межгосударственных, экономических и эпидемиологических мер, включая:

- реализацию геномного эпидемиологического надзора, прогнозирование возникновения и развития пандемий на генетическом уровне;
- совместные действия государств и мировых сообществ по предупреждению будущих пандемий, в том числе в системе ООН;
- всестороннее неукоснительное соблюдение международных норм биобезопасности;
- международное и государственное регулирование в сфере синтетической биологии и геномной инженерии;
- интенсивное развитие отраслей биоэкономики;
- контролируемое развитие цифровизации и искусственного интеллекта;
- развитие сети современных лабораторий по диагностике возбудителей инфекционных болезней;
- разработку платформенных технологических решений по созданию современных вакцин;
- всестороннее информирование населения (обсуждение глобальных проблем);
- разработку и внедрение программ обучения населения противоэпидемическим стереотипам поведения;

- поддержание и укрепление отечественной школы профилактической медицины.

Опыт борьбы с пандемией COVID-19 убедительно показал, что только комплексный, междисциплинарный и межсекторальный подход, основанный на интеграции научных, технологических, организационных и управленческих решений, позволяет эффективно снижать риски и масштабы последствий возникающих эпидемических угроз. Последовательное развитие современных наукоёмких технологий, укрепление международного взаимодействия и формирование проактивных механизмов готовности и реагирования — необходимые условия создания устойчивой системы профилактики и защиты от будущих пандемий.

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ И ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ПРОГРАММЫ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ БУДУЩИХ ЭПИДЕМИЧЕСКИХ УГРОЗ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ БИОБЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

В современных условиях обеспечение биобезопасности становится одним из приоритетных трендов развития государства. Особую актуальность это направление деятельности приобрело после пандемии COVID-19, когда необходимость создания эффективной системы защиты от эпидемических угроз вышла на первый план в государственной политике. Ключевым стал федеральный проект “Санитарный щит страны — безопасность для здоровья”, рассчитанный на период до 2030 г. Проект реализует системный подход к профилактике будущих пандемий, основная задача которого — создание эффективного барьера для предотвращения эпидемий на трёх рубежах: внутри страны, в ближнем и дальнем зарубежье. “Санитарный щит” предполагает проактивную модель защиты здоровья человека от биологических и санитарных угроз.

Кроме того, в Российской Федерации реализуются следующие федеральные проекты и государственные программы, направленные на обеспечение биологической безопасности:

- Федеральная научно-техническая программа развития генетических технологий до 2030 г.;
- Государственная программа Российской Федерации “Обеспечение химической и биологической безопасности Российской Федерации” до 2027 г.;
- Федеральный проект “Медицинская наука для человека” до 2030 г.;
- Национальный проект “Технологическое обеспечение биоэкономики” до 2030 г.

Сегодня стратегический характер приобретает задача построения биоэкономики — инновационного сектора экономики, основанного на применении биологических ресурсов и современных биотехнологий. В Указе Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года” создание биоэкономики рассматривается в качестве приоритета в решении задачи достижения технологического лидерства России, наряду с разви-

тием искусственного интеллекта (ИИ), беспилотных авиационных систем и др.

Основу современной высокотехнологичной биоэкономики, обеспечивающей прорывное развитие таких её секторов, как биомедицина, биофармацевтика и биобезопасность, составляют геномные исследования и передовые методы синтетической биологии. Современный этап геномных исследований в России начался с определения в 2009 г. в НИЦ “Курчатовский институт” генома “русского человека” — 7-го по счёту полноразмерного генома человека с высоким разрешением.

В последующие годы в стране была развёрнута масштабная работа по созданию суверенной базы для проведения современных генетических исследований: принята Федеральная научно-техническая программа развития генетических технологий (головная научная организация — НИЦ “Курчатовский институт”), в рамках которой налажено производство отечественных секвенаторов и реагентов, развёрнуты геномные центры мирового уровня и сеть геномных лабораторий (более 50) на всей территории страны, осуществляется цифровизация генетического потенциала биоресурсных коллекций и создана Национальная база генетической информации, ведётся работа по совершенствованию законодательной и нормативно-правовой базы генетических исследований.

НИЦ “Курчатовский институт” вносит весомый вклад в создание системы биологической безопасности и технологической независимости в этой области, включая работы с применением технологий ИИ по созданию многокомпонентных вакцин от герпеса, лихорадки Денге, болезни Лайма, африканской чумы свиней и др. С помощью ИИ разрабатываются также препараты для персонализированной медицины, ранней диагностики и лечения таких тяжёлых хронических состояний, как нейродегенеративные и онкологические заболевания, патологии сердца и сосудов и др. В рамках мероприятий, связанных с разработкой методов и средств диагностики и профилактики новой коронавирусной инфекции (COVID-19), ЦГИМУ “Курчатовский геномный центр” провёл широкий спектр генетических исследований:

- изучена перспективность использования экспрессионных платформ на основе метилотрофных дрожжей для разработки различных вариантов рекомбинантных вакцин на основе поверхностного белка вируса SARS-CoV-2 и других белков;
- созданы биосенсор для анализа активности главной протеазы 3CLpro вируса SARS-CoV-2 и система для анализа транскрипции гена 3CLpro в клетках человека и *Danio rerio*, что позволит оценивать патогенность коронавирусов на животных и клеточных моделях;
- разработаны экспериментальные системы, позволяющие проводить оценку цитотоксического действия вирусных протеаз на клеточном и организменном уровнях;
- разработана платформа для создания рекомбинантных РНК-вакцин на основе вирусоподобных частиц бак-

териофага MS2 в экспрессионной системе метилотрофных дрожжей *Pichia pastoris* (*Komagataella pfaffii*).

В соответствии с задачей развития научно-технологической инфраструктуры распоряжением Правительства РФ от 7 августа 2024 г. № 2103-р под эгидой НИЦ “Курчатовский институт” сформирован Научно-технологический центр биоэкономики и биотехнологий в виде консорциума ведущих биогенетических научных институтов страны, призванный обеспечить научно-технологическую поддержку реализации национального проекта “Технологическое обеспечение биоэкономики”, утверждённого 31 декабря 2025 г.

В этом же году по инициативе и с участием НИЦ “Курчатовский институт” создан консорциум российских научных организаций – Научный центр мирового уровня “Высокотехнологичная биоэкономика”, деятельность которого нацелена на создание современных биотехнологий в сегментах биоиндустрии, высокопродуктивного сельского хозяйства, биомедицины и экологии.

В Послании Федеральному собранию РФ 29 февраля 2024 г. Президент России особо отметил важность биобезопасности как долгосрочного приоритета государственной политики: “Биобезопасность должна стать одним из приоритетов для России в долгосрочной перспективе. Успешное решение таких вызовов требует слаженной работы всех государственных структур... особенно в текущих условиях эпидемиологической неопределённости” [52]. Это подчёркивает стратегическое значение реализуемых проектов и программ в контексте обеспечения национальной безопасности и технологического суверенитета страны. Сегодня можно констатировать, что состояние научного развития эпидемиологии и генетики в России соответствует мировым трендам, а отечественные разработки в области биотехнологий и биоинформатики обеспечивают биобезопасность и технологическую независимость страны. Российская школа эпидемиологии обладает необходимым потенциалом для дальнейшего развития профилактической медицины и укрепления позиций государства в глобальной системе здравоохранения [30, 53–55].

* * *

Пандемия COVID-19 стала крупнейшим за последние десятилетия вызовом для систем здравоохранения, науки и государственного управления всего мира и наглядно продемонстрировала уязвимость современного общества перед биологическими угрозами глобального масштаба. Опыт изучения пандемии COVID-19 показал, что развитие эпидемического процесса определяется биологическими свойствами возбудителя, его высокой генетической изменчивостью и способностью к быстрой адаптации в человеческой популяции.

Одним из ключевых итогов пандемии стало осознание значимой роли геномного эпидемиологического надзора как неотъемлемого элемента современной системы общественного здравоохранения. Массовое внедрение высокопроизводительного секвенирования, молекулярно-генетического мониторинга и цифровых аналитических платформ позволило оперативно выявлять новые геноварианты SARS-CoV-2, отслеживать их распространение и оценивать их эпидемический потенциал, что стало основой для научно обоснованных управленческих решений.

Пандемия продемонстрировала важность технологического суверенитета в сфере диагностики возбудителей инфекционных болезней, создания вакцин и передовых биотехнологий. Российский опыт создания замкнутого цикла производства диагностических тест-систем, развития отечественной ферментной базы, технологий LAMP, FAST PCR и CRISPR-редактирования, а также модифицированных систем NGS-секвенирования подтвердил технологическую независимость Российской Федерации и возможность быстрого масштабирования научных разработок в условиях чрезвычайной эпидемической ситуации.

Существенным уроком пандемии стало понимание необходимости цифровой трансформации в области эпидемиологии. Интеграция лабораторных, геномных и эпидемиологических данных в рамках единых цифровых платформ (VGARus, SOLAR, EpidSmart) повысила оперативность эпидемиологического анализа, точность прогноза и эффективность противоэпидемических мероприятий, заложив основу для проактивной модели современного этапа развития эпидемиологического надзора.

Пандемия COVID-19 обусловила и долгосрочные медицинские последствия, в том числе широкую распространённость постковидного синдрома, что подчеркнуло необходимость углублённого изучения иммунологических, генетических и эпигенетических механизмов взаимодействия вируса и организма человека. Полученные данные формируют научную базу для разработки новых подходов к диагностике, терапии и профилактике инфекционных заболеваний.

Основные исторические выводы пандемии COVID-19 заключаются в том, что предотвращение и минимизация последствий будущих пандемий должны строиться на комплексном подходе, объединяющем фундаментальные научные исследования, развитие геномных и цифровых технологий, достижения биоэкономики, укрепление основ биобезопасности и международное сотрудничество. Пандемия COVID-19 стала отправной точкой для формирования новой парадигмы эпидемиологического надзора и системы противодействия, ориентированной на опережающее выявление эпидемиологических угроз и обеспечение устойчивости общества перед биологическими рисками будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Случаи COVID-19 / Информационная панель ВОЗ по COVID-19. <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c>
COVID-19 Cases / WHO COVID-19 Dashboard. <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c> (In Russ.)
2. В 2020 и 2021 г. с пандемией COVID-19 были связаны 14.9 миллиона избыточных летальных исходов. <https://www.who.int/ru/news/item/05-05-2022-14.9-million-excess-deaths-were-associated-with-the-covid-19-pandemic-in-2020-and-2021>
In 2020 and 2021 14.9 million excess deaths were associated with the COVID-19 pandemic. <https://www.who.int/ru/news/item/05-05-2022-14.9-million-excess-deaths-were-associated-with-the-covid-19-pandemic-in-2020-and-2021> (In Russ.)
3. Sk Abd Razak R., Ismail A., Abdul Aziz A.F., et al. Post-COVID syndrome prevalence: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 2024 July 4, v. 24, no. 1785. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-19264-5>
4. Taher M.K., Salzman T., Banal A., et al. Global prevalence of post-COVID-19 condition: a systematic review and meta-analysis of prospective evidence. *Prévalence mondiale du syndrome post-COVID-19: revue systématique et méta-analyse des données prospectives. Health Promot Chronic Dis Prev Can.* 2025, v. 45, no. 3, pp. 112–138. <https://doi.org/10.24095/hpcdp.45.3.02>
5. The COVID-19 pandemic and continuing challenges to global health. <https://www.who.int/about/funding/invest-in-who/investment-case-2.0/challenges>
6. Meyer B.H., Prescott B., Sheng X.S. The impact of the COVID-19 pandemic on business expectations. *International Journal of Forecasting*. 2022, vol. 38, no. 2, pp. 529–544. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.02.009>
7. Editorial. The COVID-19 infodemic. *Lancet Infectious Diseases*. 2020, v. 20, no. 8. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30565-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30565-X)
8. Mian A., Khan S. Coronavirus: the spread of misinformation. *BMC Med.* 2020, v. 18, art. 89. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01556-3>
9. Perlman S., Masters P.S. Coronaviridae: The viruses and their replication. / *Fields virology: Emerging Viruses*. 7th Ed., Eds. Howley P.M., Knipe D.M., Whelan S. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2020. Pp. 410–448.
10. Щелканов М.Ю., Попова А.Ю., Дедков В.Г. и др. История изучения и современная классификация коронавирусов (Nidovirales: Coronaviridae). *Инфекция и иммунитет*. 2020. Т. 10. № 2. С. 221–246. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-HOI-1412>
Shchelkanov M.Yu., Popova A.Yu., Dedkov V.G., et al. History of study and modern classification of coronaviruses (Nidovirales: Coronaviridae). *Infection and Immunity*. 2020, vol. 10, no. 2, pp. 221–246. (In Russ.) <https://doi.org/10.15789/2220-7619-HOI-1412>
11. Львов Д.К., Альховский С.В., Колобухина Л.В. и др. Этиология эпидемической вспышки COVID-19 в г. Ухань (провинция Хубэй, Китайская Народная Республика), ассоциированной с вирусом 2019-nCoV (Nidovirales, Coronaviridae, Coronavirinae, Betacoronavirus, подрод Sarbecovirus): уроки пандемии SARS-CoV. *Вопросы вирусологии*. 2020. Т. 65. № 1. С. 6–15. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-2020-65-1-6-15>
Lvov D.K., Alkhovsky S.V., Kolobukhina L.V., et al. Etiology of the epidemic outbreak of COVID-19 in Wuhan (Hubei Province, People's Republic of China), associated with the 2019-nCoV virus (Nidovirales, Coronaviridae, Coronavirinae, Betacoronavirus, subgenus Sarbecovirus): lessons from the SARS-CoV pandemic. *Virology Issues*. 2020, v. 65 no. 1, pp. 6–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.36233/0507-4088-2020-65-1-6-15>
12. Sharma A., Ahmad Farouk I., Lal S.K. COVID-19: A Review on the novel coronavirus disease evolution, transmission, detection, control and prevention. *Viruses*. 2021, v. 13 no. 2, art. 202. <https://doi.org/10.3390/v13020202>
13. Temmam S., Vongphayloth K., Baquero E., et al. Bat coronaviruses related to SARS-CoV-2 and infectious for human cells. *Nature*. 2022, v. 604, no. 7905, pp. 330–336. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04532-4>
14. Беляков В.Д. Общие закономерности функционирования паразитарных систем (механизмы саморегуляции). *Паразитология*. 1986. Т. 20. № 4. С. 249–255.
Belyakov V.D. General regularities of functioning of parasitic systems (mechanisms of selfregulation). *Parasitology*. 1986, vol. 20, no. 4, pp. 249–255. (In Russ.)
15. Беляков В.Д., Яфаев Р.Х. *Эпидемиология*. Москва: Медицина, 1989.
Belyakov V.D., Yafaev R.Kh. *Epidemiology*. Moscow: Medicine, 1989. (In Russ.)
16. Suzuki R., Yamasoba D., Kimura I., et al. Attenuated fusogenicity and pathogenicity of SARS-CoV-2 Omicron variant. *Nature*. 2022, v. 603, pp. 700–705. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04462-1>
17. Willett B.J., Grove J., MacLean O.A., et al. SARS-CoV-2 Omicron is an immune escape variant with an altered cell entry pathway. *Nature Microbiology*. 2022, v. 7, pp. 1161–1179. <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01143-7>

18. Акимкин В.Г., Семенов Т.А., Дубоделов Д.В. и др. Теория саморегуляции паразитарных систем и COVID-19. *Вестник РАМН*. 2024. Т. 79. № 1. С. 33–41. <https://doi.org/10.15690/vramn11607>
 Akimkin V.G., Semenenko T.A., Dubodelov D.V., et al. The theory of self-regulation of parasitary systems and COVID-19. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2024, vol. 79, no. 1, pp. 33–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.15690/vramn11607>
19. Dejnirattisai W., Huo J., Zhou D., et al. SARS-CoV-2 Omicron-B.1.1.529 leads to widespread escape from neutralizing antibody responses. *Cell*. 2022, v. 185, no. 3, pp. 467–484. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.12.046>
20. Tegally H., Moir M., Everatt J., et al. Emergence of SARS-CoV-2 Omicron lineages BA.4 and BA.5 in South Africa. *Nature Medicine*. 2022, v. 28, pp. 1785–1790. <https://doi.org/10.1038/s41591-022-01911-2>
21. Marm Kilpatrick A. Ecological and evolutionary insights about emerging infectious diseases from the COVID-19 pandemic. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2023, v. 54, pp. 171–193. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102320-101234>
22. Kudlay D., Kofiadi I., Khaitov M. Peculiarities of the T Cell immune response in COVID-19. *Vaccines*. 2022, v. 10, no. 2, art. 242. <https://doi.org/10.3390/vaccines10020242>
23. Участникам и организаторам III Международной научно-практической конференции “Глобальные угрозы биологической безопасности. Проблемы и решения”. <http://kremlin.ru/events/president/letters/65915>
 To the participants and organizers of the III International Scientific and Practical Conference “Global Threats to Biological Security. Problems and Solutions.” <http://kremlin.ru/events/president/letters/65915> (In Russ.)
24. Pathogens prioritization: a scientific framework for epidemic and pandemic research preparedness. <https://www.who.int/publications/m/item/pathogens-prioritization-a-scientific-framework-for-epidemic-and-pandemic-research-preparedness>
25. Страны заключили историческое соглашение о пандемиях после трёх лет переговоров / *Новости ООН*. <https://news.un.org/ru/story/2025/04/1463356>
 Countries have reached the historic pandemic agreement after three years of negotiations / *UN News*. <https://news.un.org/ru/story/2025/04/1463356> (In Russ.)
26. Заключительное слово Генерального директора ВОЗ на третьем совещании Межправительственной рабочей группы (МПРГ) по Соглашению ВОЗ по борьбе с пандемиями, 7 ноября 2025 г. [https://www.who.int/ru/news-room/speeches/item/who-director-general-s-closing-remarks-at-the-third-intergovernmental-working-group-\(igwg\)-on-the-who-pandemic-agreement-7-november-2025](https://www.who.int/ru/news-room/speeches/item/who-director-general-s-closing-remarks-at-the-third-intergovernmental-working-group-(igwg)-on-the-who-pandemic-agreement-7-november-2025)
 WHO Director-General’s closing remarks at the Third Intergovernmental Working Group (IGWG) on the WHO Pandemic Agreement, November 2025 [https://www.who.int/en/news-room/speeches/item/who-director-general-s-closing-remarks-at-the-third-intergovernmental-working-group-\(igwg\)-on-the-who-pandemic-agreement-7-november-2025](https://www.who.int/en/news-room/speeches/item/who-director-general-s-closing-remarks-at-the-third-intergovernmental-working-group-(igwg)-on-the-who-pandemic-agreement-7-november-2025) (In Russ.)
27. ВОЗ. Глобальная стратегия геномного эпиднадзора за возбудителями болезней, обладающих пандемическим и эпидемическим потенциалом, 2022–2032 гг. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/364021/9789240058163-rus>
 WHO. Global strategy for genomic surveillance of pathogens with pandemic and epidemic potential, 2022–2032. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/364021/9789240058163-rus> (In Russ.)
28. ВОЗ. Проект Четырнадцатой общей программы работы на 2025–2028 гг. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA77/A77_16-ru.pdf
 WHO. Draft Fourteenth General Programme of Work 2025–2028. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA77/A77_16-ru.pdf (In Russ.)
29. Pannu J., Gebauer S., McKelvey Jr. G., et al. AI could pose pandemic-scale biosecurity risks. Here’s how to make it safer. *Nature*. 2024, v. 8040, pp. 808–811. <https://doi.org/10.1038/d41586-024-03815-2>
30. Акимкин В.Г., Зверев В.В., Кирпичников М.П. и др. Эпидемиологические, клеточные, генетические и эпигенетические аспекты биобезопасности. *Вестник РАН*. 2024. Т. 94. № 3. С. 287–298. <https://doi.org/10.31857/S0869587324030127>
 Akimkin V.G., Zverev V.V., Kirpichnikov M.P., et al. Epidemiological, cellular, genetic, and epigenetic aspects of biosafety. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2024, vol. 94, no. 3, pp. 287–298. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869587324030127>
31. Akande O.W., Carter L.L., Abubakar A., et al. Strengthening pathogen genomic surveillance for health emergencies: insights from the World Health Organization’s regional initiatives. *Frontiers in Public Health*. 2023, v. 11, 1146730. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1146730>
32. Global genomic surveillance strategy for pathogens with pandemic and epidemic potential 2022–2032. Progress report on the first year of implementation. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/374757/9789240084773-eng.pdf?sequence=1>

33. Степанов В.А., Янковский Н.К. Геном человека и COVID-19. *Генетика*. 2025. Т. 61. № 5. С. 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0016675825050012>
Stepanov V.A., Yankovsky N.K. The Human Genome and COVID-19. *Genetics*. 2025, vol. 61, no. 5, pp. 3–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0016675825050012>
34. Balnis J., Madrid A., Hogan K.J., et al. Blood DNA methylation and COVID-19 outcomes. *Clinical Epigenetics*, 2021, v. 13, art. 118.
35. Wang G., Xiong Z., Yang F., et al. Identification of COVID-19-Associated DNA Methylation Variations by Integrating Methylation Array and scRNA-Seq Data at Cell-Type Resolution. *Genes*. 2022, vol. 13, no. 7, art. 1109.
36. Патент № 2586502 С1 Российская Федерация, МПК С12N 15/10, С12Q 1/68, G06F 19/18. Способ картирования положений ряда метилированных нуклеотидных последовательностей Pu(5mC)GPy в протяжённой ДНК для построения эпигенетического профиля и выявления аномально метилированных участков ДНК: № 2015117897/10: заявл. 13.05.2015; опубл. 10.06.2016 / М.А. Абдурашитов, В.Н. Томилов, Д.А. Гончар и др. Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью “СибЭнзайм”.
Patent No. 2586502 C1 Russian Federation, IPC C12N 15/10, C12Q 1/68, G06F 19/18. Method for mapping the positions of a number of methylated nucleotide sequences of Pu(5mC)GPy in extended DNA to construct an epigenetic profile and identify abnormally methylated DNA regions: no. 2015117897/10: declared 13.05.2015: published 10.06.2016 / M.A. Abdurashitov, V.N. Tomilov, D.A. Gonchar et al. Applicant: SibEnzyme Limited Liability Company (In Russ.)
37. Патент № 2413773 С1 Российская Федерация, МПК С12Q 1/68. Способ определения гиперметилированных CpG островков в области генов-супрессоров опухолевого роста в ДНК человека: № 2009127467/10: заявл. 16.07.2009; опубл. 10.03.2011 / Д.А. Гончар, А.Г. Акишев, С.Х. Дегтярёв. Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью “СибЭнзайм”.
Patent No. 2413773 C1 Russian Federation, IPC C12Q 1/68. Method for determining hypermethylated CpG islands in the region of tumor suppressor genes in human DNA: no. 2009127467/10: declared 16.07.2009: published 10.03.2011 / D.A. Gonchar, A.G. Akishev, S.Kh. Applicant: SibEnzyme Limited Liability Company (In Russ.)
38. Kaneko S., Takasawa K., Asada K., et al. Epigenetic Mechanisms Underlying COVID-19 Pathogenesis. *Biomedicines*. 2021, v. 9, 1142. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9091142>
39. Акимкин В.Г., Дубоделов Д.В., Есьман А.С. и др. Цифровые решения (VGARus, SOLAR, “EpidSmart – модуль COVID”) в системе эпидемиологического надзора за новой коронавирусной инфекцией (COVID-19). *Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы*. 2025. Т. 15. № 1. С. 43–50. <https://doi.org/10.18565/epidem.2025.15.1.43-50>
Akimkin V.G., Dubodelov D.V., Esmen A.S., et al. Digital solutions (VGARus, SOLAR, “EpidSmart – COVID module”) in the system of epidemiological surveillance for the new coronavirus infection (COVID-19). *Epidemiology and infectious diseases. Current items*. 2025, vol. 15, no. 1, pp. 43–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.18565/epidem.2025.15.1.43-50>
40. Акимкин В.Г. Перспективы цифровизации в эпидемиологии. *Вестник РАН*. 2025. № 8. С. 38–52. <https://doi.org/10.7868/S3034520025080041>
Akimkin V. G. Prospects of digitalization in epidemiology. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2025, no. 8, pp. 38–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520025080041>
41. Послание Президента РФ Федеральному собранию от 21.04.2021. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/46794/page/1>
President of the Russian Federation’s Address to the Federal Assembly, April 21, 2021. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/46794/page/1> (In Russ.)
42. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 октября 2021 г. № 2816-р “Об утверждении перечня инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года”. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/46794/page/1>
Russian Federation Government Decree of October 6, 2021 no. 2816-r “On approving the List of socio-economic development initiatives for the Russian Federation up to 2030”. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/46794/page/1> (In Russ.)
43. “Catastrophic” year for air travel demand. *Airlines. IATA*. 10.02.2021. <https://airlines.iata.org/news/catastrophic-year-for-air-travel-demand>
44. The impact of the pandemic on industries. A conceptual map and key processes. https://downloads.unido.org/ot/25/40/25407524/WP_17_2021.pdf
45. Global economic prospects. Chapter 1. January 2023. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/04e61507-dd9d-5227-a030-512f1aefe30f/content>
46. Impact of the coronavirus pandemic on the global economy. *Statistics & Facts. Statista*. <https://www.statista.com/topics/6139/covid-19-impact-on-the-global-economy/>

47. Faramarzi A., Norouzi S., Dehdarirad H., et al. The global economic burden of COVID-19 disease: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Systematic Reviews*. 2024, v. 13, no. 68. <https://doi.org/10.1186/s13643-024-02476-6>
48. Ежегодный отчёт ООН: пандемия поставила под угрозу достижение Целей устойчивого развития. <https://news.un.org/ru/story/2021/07/1405932>
 UN Annual Report: The pandemic has jeopardized the achievement of the Sustainable Development Goals. <https://news.un.org/ru/story/2021/07/1405932> (In Russ.)
49. На фоне пандемии COVID-19 во всём мире распространённость тревожных расстройств и депрессий выросла на 25%. <https://www.who.int/ru/news/item/02-03-2022-covid-19-pandemic-triggers-25-increase-in-prevalence-of-anxiety-and-depression-worldwide>
 COVID-19 pandemic triggers 25% increase in prevalence of anxiety and depression worldwide <https://www.who.int/ru/news/item/02-03-2022-covid-19-pandemic-triggers-25-increase-in-prevalence-of-anxiety-and-depression-worldwide> (In Russ.)
50. A clinical case definition of post COVID-19 condition by a Delphi consensus. *World Health Organization*. 6 October 2021. <https://iris.who.int/handle/10665/345824>
51. Chen C., Hauptert S.R., Zimmermann L., et al. Global prevalence of post-coronavirus disease 2019 (COVID-19) condition or long COVID: A meta-analysis and systematic review. *The Journal of Infectious Diseases*. 2022, v. 226, no. 9, pp. 1593–1607. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiac136>
52. Послание Президента РФ Федеральному собранию от 29.02.2024. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50431>
 President of the Russian Federation’s Address to the Federal Assembly, February 29, 2024. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50431> (In Russ.)
53. Акимкин В.Г., Черкашина А.С., Тюменцев А.И. и др. Биотехнологии в геномном эпидемиологическом надзоре. Состояние и перспективы развития. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2025. Т. 24. № 3. С. 4–13. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-3-4-13>
 Akimkin V.G., Cherkashina A.S., Tyumentsev A.I., et al. Biotechnology in genomic surveillance. Status and development prospects. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2025, vol. 24, no. 3, pp. 4–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-3-4-13>
54. Акимкин В.Г., Дубоделов Д.В., Есьман А.С. и др. Эпидемиологическая и экономическая эффективность массового ПЦР-обследования населения Российской Федерации в период эпидемии COVID-19. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2025. Т. 24. № 6. С. 28–35. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-6-28-35>
 Akimkin V.G., Dubodelov D.V., Esmann A.S., et al. The epidemiological and economic impact of mass PCR testing on the population of the Russian Federation during the COVID-19 epidemic. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2025, vol. 24, no. 6, pp. 28–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-6-28-35>
55. Акимкин В.Г. Эволюция эпидемиологии. *Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы*. 2025. Т. 15. № 2. С. 6–15. <https://doi.org/10.18565/epidem.2025.15.2.6-15>
 Akimkin V.G. Evolution of epidemiology. *Epidemiology and infectious diseases. Current items*. 2025, vol. 15, no. 2, pp. 6–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18565/epidem.2025.15.2.6-15>

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ
OFFICIAL SECTION

**РАН ОБЪЯВЛЯЕТ КОНКУРС НА СОИСКАНИЕ ПРЕМИИ
“ЗА ВЫДАЮЩИЕСЯ НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ” В 2027 ГОДУ**

В соответствии с «Положением о Премии Российской академии наук “За выдающиеся научные достижения”» объявляется конкурс на соискание Премии РАН по следующим областям науки и техники:

- математические и информационные науки;
- физические и инженерные науки;
- химические науки и науки о материалах;
- биологические науки и науки о жизни;
- науки о Земле; гуманитарные и общественные науки;
- сельскохозяйственные науки; медицинские науки.

На соискание Премии выдвигаются учёные — граждане Российской Федерации и российские научные коллективы (коллектив соискателей не более трёх человек).

Право выдвижения кандидатов на соискание Премии РАН предоставляется академикам РАН и членам-корреспондентам РАН (группами в количестве не менее трёх членов РАН); научным советам при президиуме РАН, учёным советам научных учреждений или образовательных организаций высшего образования.

Организации или лица, выдвинувшие кандидата на соискание Премии РАН, обязаны представить в Комиссию по золотым медалям и премиям имени выдающихся учёных, присуждаемым РАН, — в бумажном виде с пометкой «На соискание Премии РАН “За выдающиеся научные достижения”» и указанием наименования области науки и техники, по которой выдвигается работа — следующие материалы:

а) мотивированное представление, включающее научную характеристику работы, оценку её вклада в науку и данные о практическом внедрении результатов (при наличии), подписанное академиками РАН/членами-корреспондентами РАН или председателем научно-

го совета при президиуме РАН, или руководителем научного учреждения;

б) протокол (выписка из протокола) заседания учёного совета организации с решением о выдвижении кандидата (коллектива соискателей) на соискание Премии РАН (при наличии);

в) опубликованную научную работу (серию работ), материалы патента на изобретения и др.;

г) сведения об авторе (фамилия, имя, отчество полностью, дата рождения, место работы, должность, учёная степень, учёное звание, номера служебного, домашнего и мобильного телефонов, электронная почта);

д) справку о достижениях кандидата (кандидатов), представляемых научных работах и их значении, творческом вкладе каждого соискателя (при коллективном выдвижении);

е) справку о том, что представляемая на конкурс работа ранее не была удостоена Государственных премий Российской Федерации (в том числе в области науки и технологий), премий Правительства Российской Федерации, а также премий РАН имени выдающихся учёных;

ж) согласие соискателя (соискателей) на обработку персональных данных в свободной форме.

Решения президиума РАН о присуждении Премии РАН, а также краткие аннотации о работах, удостоенных Премии РАН, публикуются в журнале “Вестник Российской академии наук” и на официальном сайте РАН.

Срок подачи материалов до 1 октября 2026 года.

Адрес подачи документов: 119991, Москва, Ленинский проспект, 14, корп. 2, Секретариат президиума РАН.

Справки по телефону: 499 237-69-64 (доб. 2938, 2942), 499 237-98-52 (доб. 1035).