СОДЕРЖАНИЕ

Том 91, номер 12, 2021

Наука и общество

А. М. Сергеев
Проблемы формирования научного кадрового потенциала
Российской Федерации и пути их решения 1093

С кафедры президиума РАН

Р. И. Илькаев
“Эта работа – практически война за мир”
К 100-летию со дня рождения академика А.Д. Сахарова 1098

А. Г. Арбатов
Идеи академика А.Д. Сахарова и стратегическая стабильность 1104

Б. Н. Четверушкин, М. В. Якобовский
О перспективах развития в России высокопроизводительных вычислений
и предсказательного моделирования в современных технологиях 1108

С. С. Попов (составитель)
Опасное отставание в суперкомпьютерных технологиях необходимо преодолеть
Обсуждение научного сообщения 1115

Точка зрения

Б. Н. Порфирьев, Д. О. Елисеев, Д. А. Стрелецкий
Экономическая оценка последствий деградации многолетней мерзлоты
для объектов системы здравоохранения российской Арктики 1125

Проблемы экологии

А. А. Осадчиев
Перенос и трансформация речного стока в российской Арктике 1137

За рубежом

А. В. Акимов, К. А. Гемуева, Н. К. Семенова
Седьмая перепись населения в КНР: результаты и перспективы
демографического развития страны 1144

Этюды об учёных

В. Е. Багно, Н. А. Тарасова
Второе академическое собрание сочинений Ф.М. Достоевского в Пушкинском Доме
К 200-летию со дня рождения писателя 1157

Е. В. Поляков, А. В. Дерябина, В. Г. Бамбуров
“Это направление становится одним из перспективных в мировой науке...”
К 95-летию со дня рождения академика Г.П. Швейкина 1170

Научная жизнь

А. И. Костяев, В. Н. Суровцев, А. Л. Ронжин
Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство 1179

В конце номера

О. В. Михайлов
О квартильном ранжировании научных журналов 1183

Официальный отдел

Награды и премии 1187

Указатель статей, опубликованных в “Вестнике Российской академии наук”, 2021, № 1–12
Именной указатель авторов 1194

CONTENTS

Vol. 91, No. 12, 2021

Science and society

A. M. Sergeev
Problems of the formation of the scientific personnel potential of the Russian Federation and the ways of their solution 1093

From the Rostrum of the RAS Presidium

R. I. Ilkaev
"This work is practically a war for peace"
To the 100th anniversary of the birth of Academician A.D. Sakharov 1098

A. G. Arbatov
The ideas of academician A.D. Sakharov and strategic stability 1104

B. N. Chetverushkin, M.V. Jacobovsky
On the prospects for the development of high-performance computing and predictive modeling in modern technologies in Russia 1108

S. S. Popov (compiler)
Dangerous lag in supercomputing technology needs to be bridged
Dispute on the scientific discussion 1115

Point of view

B. N. Porfiriev, D. O. Eliseev, D. A. Streletsky
Economic Assessment of the Consequences of Permafrost Degradation of Healthcare Facilities in the Russian Arctic 1125

Problems of Ecology

A. A. Osadchiev
Transfer and transformation of river flow in the Russian Arctic 1137

Abroad

A. V. Akimov, K. A. Gemueva, N. K. Semenova
The Seventh Population Census in China: Results and Prospects of the Country's Demographic Development 1144

Profiles

V. E. Bagno, N. A. Tarasova
The second academic collected works of F.M. Dostoevsky in the Pushkin Dom
To the 200th anniversary of the birth of the writer 1157

E. V. Polyakov, A. V. Deryabina, V. G. Bamburov
"This trend is becoming one of the most promising in the world of science ..."
To the 95th anniversary of the birth of Academician G.P. Shveikin 1170

Scientific life

A. I. Kostyaev, V. N. Surovtsev, A. L. Ronzhin
Agriculture digitalization and organic production 1179

At the end of the issue

O. V. Mikhailov
About quarterly ranking of scientific journals 1183

Official Section

Awards and prizes 1187

Index of articles published in the "Vestnik Rossiiskoy Academii nauk", 2021, № 1–12
Author's index 1194

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1093–1097

НАУКА И ОБЩЕСТВО

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАУЧНОГО КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

© 2021 г. А. М. Сергеев

Российская академия наук, Москва, Россия

E-mail: amsergeev@pran.ru

Поступила в редакцию 24.08.2021 г.
После доработки 24.08.2021 г.
Принята к публикации 10.09.2021 г.

13 мая 2021 г. президент РАН А.М. Сергеев выступил в Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации в ходе парламентских слушаний на тему “Научный кадровый потенциал страны: состояние, тенденции развития и инструменты роста”. Вестник РАН предлагает вниманию своих читателей статью, основанную на этом выступлении.

Ключевые слова: научный кадровый потенциал, научно-технологическое развитие, доля исследователей в структуре занятости, качественный состав исследователей, Российская академия наук, аспирантура, академическая мобильность, инвестиции в науку.

DOI: 10.31857/S0869587321120124

Формирование национального научного кадрового потенциала – актуальная задача, связанная с обеспечением устойчивого научно-технологического развития нашей страны. Её решение происходит в условиях, когда страны-лидеры мировой экономики в основном перешли на инновационную модель развития, особенность которой заключается в быстром превращении знаний в новые технологии и динамичном возврате, реинвестиции в науку прибылей, полученных за счёт их внедрения.

Важность обсуждения задач ориентации молодых людей на построение карьеры в сфере науки и высоких технологий, качественной подготовки и последовательной поддержки учёных связана также с тем, что наша страна находится на первых этапах реализации крупнейших национальных проектов, когда определяются новые стратегические подходы для достижения целей развития России до 2030 г. Поэтому имеет смысл сформулировать наиболее важные, на наш взгляд, проблемы формирования научного кадрового потенциала Российской Федерации и показать возможные пути их решения.

СЕРГЕЕВ Александр Михайлович – академик РАН, президент РАН.

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА УЧЁНЫХ

В связи с широкой дискуссией, развернувшейся в нашем обществе вокруг вопроса о необходимой и достаточной численности отечественных учёных, представляется обоснованным обозначить эту проблему как одну из приоритетных при обсуждении вопроса формирования научного кадрового потенциала.

Действительно, в последние годы по числу исследователей в эквиваленте полной занятости наша страна опустилась с престижной четвёртой позиции в мире на шестую, что вызывает определённое общественное беспокойство. По относительному числу исследователей Россия находится на 27-м месте в мире. Понятно, что многие специалисты на эмоциональном уровне воспринимают подобную статистику как неблагоприятную. Тем не менее следует задаться не эмоцио-

нальным, а рациональным вопросом: сколько учёных необходимо нашей стране?

Для ответа на этот вопрос обратимся к мировому опыту, который говорит о наличии корреляции между долей валового внутреннего продукта (ВВП), которая направляется на научные исследования, и численностью исследователей: чем бóльший процент ВВП расходуется на науку, тем выше доля исследователей в структуре занятости конкретной страны.

В высокоразвитых странах при отчислениях на науку в размере 2–3% ВВП на 10 тыс. трудоспособного населения приходится приблизительно 100 учёных (около 1%). Если применить этот подход к нашей стране, можно увидеть, что относительное число отечественных исследователей соответствует указанной мировой закономерности – на науку в России тратится чуть больше 1% ВВП, а число исследователей составляет около 0.5% занятых в экономике. Следовательно, проблема формирования отечественного научного кадрового потенциала – это часть более общей системной проблемы малых вложений в науку нашей страны. Будут расти инвестиции в науку – будет увеличиваться число исследователей.

В этом смысле задача Российской академии наук в рамках её компетенции заключается в мониторинге и сохранении устойчивого баланса между инвестициями в науку и численностью учёных в соответствии с мировыми тенденциями.

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА УЧЁНЫХ

Переходя к рассмотрению качественного состава исследователей – кадрам высшей квалификации, кандидатам и докторам наук, необходимо отметить, что за последние пять лет в нашей стране число исследователей с учёной степенью сократилось на 10 тыс. человек. Количество защит кандидатских диссертаций уменьшилось с 21 тыс. в 2012 г. до 9 тыс. в 2019 г., а количество защит по итогам завершения обучения в аспирантуре составляет около 9%. Эту тенденцию нельзя назвать позитивной.

Российская академия наук активно участвовала в дискуссии, развернувшейся вокруг вопроса о реформе системы аспирантуры, и наше мнение по этому вопросу было услышано: в принятом Федеральном законе от 30 декабря 2020 г. № 517-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об образовании в Российской Федерации” и отдельные законодательные акты Российской Федерации» введены новые важные нормы:

• отменена обязательная аккредитация программ аспирантуры, которые больше ориентировались на обучение и защиту выпускной работы, а не на проведение реальных научных исследований (вместо Федерального государственного образовательного стандарта введены Федеральные государственные требования, которые позволяют создавать гибкие программы обучения с учётом специфики научных направлений);

• изменены правила итоговой аттестации – теперь по окончании аспирантуры нужно представить полноценную диссертацию и обязательно её защищать;

• более чётко определены требования к порядку представления диссертации на защиту – они в большей степени соответствуют современным реалиям.

Эти изменения нормативно-правовой базы подготовки и защиты кандидатских диссертаций положительно восприняты большей частью научного сообщества, непосредственно участвующего в решении задачи формирования качественного состава учёных.

Говоря о возврате полноценной научной аспирантуры и возрождении интереса к ней (конкурс на поступление в аспирантуру в настоящее время можно назвать небольшим), нельзя не упомянуть о низком уровне государственных аспирантских стипендий: сегодня они составляют около 9 тыс. рублей в месяц. При этом в некоторых инновационных научных и образовательных структурах стипендия аспирантов превышает государственную в 5–7 раз, существуют специальные грантовые фонды для обеспечения части аспирантов материальной поддержкой и средствами для проведения исследований. Мы считаем, что такую практику поддержки аспирантов необходимо существенно расширить.

Кроме того, требуют дополнительной проработки вопросы трудоустройства аспирантов – аспирантские места должны выделяться учреждениям и организациям, имеющим успешный опыт получения грантов, участия в крупных научно-исследовательских программах и проектах, соответствующий научный потенциал. Другая важная задача – развитие системы грантов для аспирантов, которая способна обеспечить им базу для проведения исследований и одновременно материальную поддержку.

Вместе с тем уместно сформулировать следующий вопрос: какое количество аспирантов можно считать оптимальным для нашей страны? Если говорить о консервативном сценарии, то есть поддержании численности кадров высшей квалификации на сегодняшнем уровне с учётом естественной убыли и ухода специалистов из исследовательского сектора, то речь может идти примерно о пяти тысячах защит в год, что сопоставимо с имеющимся в настоящее время уровнем – около 9 тыс. защит. В связи с этим имеет смысл делать акцент не столько на увеличении количества бюджетных мест в аспирантуре, сколько на по-

вышении качества подготовки и защиты диссертаций.

Говоря о формировании качественного состава контингента отечественных учёных, необходимо также затронуть проблему академической мобильности. Хорошо известно, что современные исследования можно проводить только в тесном взаимодействии с научным сообществом. Поток научной информации в научной среде настолько велик, что, помимо публикуемых статей, в науке, особенно экспериментальной, появляется огромное количество тонких навыков, которые могут быть переданы только из рук в руки. Отсутствие обмена такой информацией нередко приводит к определённому обособлению и самоизоляции научных школ, когда кругозор учёных ограничивается рамками представлений того научного сообщества, в котором он сформировался. Это приводит к отставанию проводимых исследований и от мирового уровня, и от уровня российских лидеров отдельных научных направлений.

Решение этой проблемы, на наш взгляд, лежит в обеспечении краткосрочной (для оперативного обсуждения и представления результатов) и долгосрочной (для повышения квалификации и приобретения уникальных навыков) мобильности научных кадров, что позволит в том числе поддерживать точки научного роста в регионах и тиражировать успешный опыт.

При этом механизмы обеспечения академической мобильности тесно связаны с вопросами формирования фонда служебного жилья и учреждения специальных ипотечных программ для учёных.

ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАУКИ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ НАШЕЙ СТРАНЫ

По результатам социологического опроса, проведённого в апреле 2021 г., только 5% респондентов считают, что будущее нашей страны в наибольшей степени связано с развитием отечественной науки и технологий. Таким образом, в массовом сознании наших соотечественников развитие науки и технологий является следствием, а не условием качественных изменений жизни (большинство опрошенных считает, что сначала необходимо стать богатой страной и только потом развивать науку).

Вряд ли можно согласиться с такой позицией. Очевидной альтернативой видится другой вариант – развитие страны через существенное увеличение инвестиций в человеческий капитал, в его качество, в знания и умения людей, в кадры высокой и высшей квалификации, соответствующее передовому уровню мировой науки и технологий. Эти инвестиции необходимо сосредоточить на важнейших направлениях научно-технического прогресса, среди которых информационные технологии, биомедицина, новая энергетика, новые материалы.

Указанные направления должны стать объектом внимания в том числе молодых учёных, которые ежегодно вливаются в опытные научные коллективы, включаются в решение самых сложных, ответственных задач. Их число в последнее время растёт, что отражает определённый рост престижа научной работы у молодого поколения исследователей.

Отметим, что Российская академия наук во все времена выстраивала специальную работу с этой категорией учёных. Гранты, конкурсы, премии молодым учёным и многое другое – всё это даёт свои положительные результаты. Несмотря на происшедшие в последнее время изменения в структуре научных фондов, которые в целом были критично восприняты научным сообществом, система грантовой поддержки молодых учёных продолжает действовать и позволяет им, с одной стороны, предложить для изучения актуальную научную проблему, которая пройдёт независимую экспертизу, а с другой – в случае положительного решения получить финансирование для начала исследований.

Наша задача – обеспечить дальнейшую последовательную поддержку исследователей, включая молодых учёных, при выборе и разработке ими приоритетных направлений инновационного развития Российской Федерации.

ПРОБЛЕМА ПОИСКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ В НАУКУ

Где же найти средства для быстрого и качественного развития актуальных направлений научно-технического прогресса? Можно предположить, что в ближайшее время значительный рост бюджетных инвестиций в науку маловероятен, наше государство и так обеспечивает около двух третей общего объёма вложений в научные исследования (для сравнения, такая доля финансирования науки в большинстве развитых стран обеспечивается за счёт средств предпринимательского сектора).

Ответ на этот вопрос может быть связан с изучением и использованием законов развития рыночной экономики и правильным государственным регулированием инноваций. Дело в том, что успешно развивающиеся компании имеют естественную необходимость осваивать новые рынки с применением новых технологий, иначе они не смогут быть конкурентоспособными на мировом уровне. Это видно на примере отечественных высокотехнологичных корпораций и компаний, ко-

торые всё больше инвестируют в научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки. Такие компании не только развивают свои исследовательские подразделения, но и вкладывают значительные средства в университеты, академический сектор для получения более глубоких знаний и высоких технологий, что в конечном счёте обусловливает их финансовую, экономическую успешность на отечественном и мировых рынках. Например, госкорпорация "Росатом" проводит инновационные исследования в намного более широкой области, чем предусматривает традиционная ядерная индустрия, включая новые материалы, квантовые технологии, искусственный интеллект, проблемы экологии.

Вместе с тем эти компании инвестируют и в создание кадрового потенциала (не только инженерного, но и научного), становятся высококвалифицированными отечественными работодателями, которые стимулируют подготовку кадров для инновационной экономики, необходимой нашей стране. Примером такого подхода к подготовке новых кадров может служить открытие компанией "Росатом" совместно с Российской академией наук и Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова в 2021 г. в г. Сарове Нижегородской области Национального центра физики и математики. В этом своеобразном академгородке XXI столетия будет действовать филиал МГУ, обеспечивающий подготовку кадров высшей квалификации для нового технологического уклада.

Сотрудничество с отечественными передовыми компаниями по научному обеспечению процесса скорейшего превращения знаний в технологии – важнейшая задача Российской академии наук. У РАН имеются положительные примеры такого взаимодействия как с "Росатомом", так и с другими крупными отечественными компаниями: "Газпромом", АФК "Система", "ФосАгро" и другими.

При этом важной является работа на региональном уровне с учётом интересов компаний к производствам, которые существуют в субъектах Российской Федерации. В качестве положительного примера можно привести сотрудничество РАН с Кемеровской, Белгородской, Томской, Новосибирской, Свердловской областями, с Республикой Саха (Якутия) и другими регионами.

ПРОБЛЕМА КООРДИНАЦИИ И ПОДДЕРЖКИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Безусловно, для увеличения инвестиций в науку, которые приведут к адекватному количественному и качественному изменению кадрового потенциала, в критически важных направлениях необходимо выработать привлекательные меры государственного стимулирования бизнеса. Российская академия наук вместе с Правительством Российской Федерации активно участвует в обсуждении этого вопроса. Появляются конкретные решения, которые проходят апробацию на практике.

Одновременно стоит задача создания единой федеральной инновационной системы поддержки и развития науки, которую в современной ситуации можно охарактеризовать как весьма фрагментарную.

Например, действует инновационная экосистема "Сколково", реализуется Национальная технологическая инициатива, создаются научно-образовательные центры мирового уровня. Каждый из этих проектов реализуется достаточно эффективно, но всё же несколько разрозненно.

Созданием единой инновационной системы поддержки науки в настоящее время занимается правительственная Комиссия по научно-техническому развитию под руководством Д.Н. Чернышенко, заместителя Председателя Правительства Российской Федерации, в состав которой входят представители Российской академии наук.

В этой связи РАН предлагает в качестве одного из направлений работы сфокусировать внимание Комиссии на поддержке учёных в возрасте старше 35 лет, которые теряют "молодёжный" статус и возможность соответствующей грантовой поддержки. В этом возрасте учёный находится, как правило, на взлёте своей научной карьеры – у него много идей, энергии и достаточно опыта. При этом ему сложно конкурировать при получении гранта с более заслуженными коллегами, которые, например, много лет руководят большими научными коллективами.

Наша задача – сохранить эту важнейшую группу исследователей в науке. Они имеют опыт постановки исследовательских задач, участия в грантах и руководства небольшой научной группой. При этом в условиях жёсткой конкуренции они нередко принимают решение продолжить свою карьеру в других сферах нашей жизни, получая заманчивые предложения от руководителей промышленных, производственных предприятий, бизнеса, социальной сферы.

Мы считаем, что в науке таких учёных можно удержать своим "хозяйством" – лабораториями, современным оборудованием, командой специалистов. Это, в свою очередь, станет одним из важных решений по созданию единой федеральной инновационной системы поддержки и развития науки.

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОГО ОБЛИКА НАУКИ, ОРИЕНТАЦИИ МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ НА КАРЬЕРУ В СФЕРЕ НАУКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Подготовка квалифицированных научных кадров для критически важных направлений научно-технического прогресса – это задача и государства, и академической и преподавательской общественности. По сути, в этом случае речь идёт о траектории учёного, которая начинается в школе, проходит через университет, аспирантуру и приводит молодого исследователя в научный институт или высокотехнологичную компанию.

Это очень непростая траектория: чтобы достигнуть на ней успеха, необходимо много и трудно учиться. При этом молодому человеку предлагается широкий выбор других возможностей, которые с гораздо меньшими затратами и быстрее приводят к высокому уровню благосостояния, высоко ценимому в обществе.

Как сделать научную траекторию привлекательной и устойчивой? Как минимизировать потери и добиться того, чтобы как можно меньше молодых людей уходило из науки в другие сферы?

Ответ на эти вопросы может быть связан с активным использованием опыта, потенциала Российской академии наук и ведущих отечественных учёных. Именно они со своими знаниями и опытом могут (и должны) мотивировать молодое поколение со школьной скамьи к постижению тайн науки, помочь студентам младших курсов университетов как можно быстрее освоить базовые дисциплины, стать интересными для работодателей, обеспечить поддержку молодёжи при выборе актуальной специальности в магистратуре и передового, самого перспективного научного направления в аспирантуре. Такую поддержку можно назвать системой академического сопровождения талантливой молодёжи.

Каждый год сотни академиков, членов-корреспондентов, профессоров РАН и других научных сотрудников проводят тысячи научно-популярных и познавательных лекций для школьников, организуют экскурсии в научные центры и лаборатории, выступают консультантами и экспертами детских проектов и исследований. Со школьниками общаются действующие учёные, которые знают и понимают, как создаются новые знания и высокие технологии. Это оставляет неизгладимое впечатление на детей, с самого раннего возраста прививает у них интерес и уважение к научной работе, а у многих формирует научную профессиональную ориентацию.

Примером академического сопровождения талантливой молодёжи можно считать проект “Базовые школы Российской академии наук”, в котором участвует 108 школ из 32 регионов нашей страны. В базовых школах РАН в сотрудничестве с крупными региональными научными и образовательными центрами создаются дополнительные условия для того, чтобы воспитать у будущих студентов и учёных вкус к науке, развить умения исследовательской деятельности. Профессора РАН ежегодно проводят для старшеклассников базовых школ РАН сотни научно-популярных лекций, учащиеся приглашаются в лаборатории научных институтов и ведущих вузов региона. Они получают возможность увидеть, как рождается наука, как проводятся исследования самого высокого, мирового уровня, и даже принять в них непосредственное участие.

Большое внимание уделяется подготовке педагогов базовых школ РАН. Академия наук организует для них лекции и семинары, обсуждая самые интересные и актуальные научные открытия, проводит экскурсии в научные лаборатории и на экспериментальные установки, где совершаются настоящие научные открытия, обеспечивает обмен передовым опытом преподавания профильных дисциплин. С этими знаниями и опытом они возвращаются к школьникам и коллегам.

Подготовка будущих учёных не ограничивается только участниками проекта “Базовые школы РАН” – все эти общеобразовательные организации стали центрами по привлечению других школ регионов к решению задачи воспитания будущих исследователей. Мы видим эффект тиражируемости опыта, расширения сетевого взаимодействия базовых школ РАН и с учреждениями высшего и среднего профессионального образования, социальными партнёрами.

Подводя итог сказанному, необходимо подчеркнуть, что задача академического и преподавательского сообщества на современном этапе заключается в обеспечении качественной подготовки научных кадров высшей квалификации в критически важных направлениях инновационного развития нашей страны через ориентацию и сопровождение талантливой молодёжи со школьной скамьи до передовой научной или технологической лаборатории.

Стратегическая задача Российской академии наук – сделать так, чтобы развитие науки и технологий как можно быстрее стало причиной, а не следствием динамичных инновационных преобразований в России.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1098–1103

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

“ЭТА РАБОТА – ПРАКТИЧЕСКИ ВОЙНА ЗА МИР”
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА А.Д. САХАРОВА

© 2021 г. Р. И. Илькаев

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия

E-mail: ilkaev@vniief.ru

Поступила в редакцию 16.07.2021 г.
После доработки 16.07.2021 г.
Принята к публикации 16.08.2021 г.

25 мая 2021 г. на заседании президиума РАН отмечалось столетие академика А.Д. Сахарова – одного из ключевых участников создания в СССР термоядерного оружия, первой термоядерной бомбы РДС-6С, термоядерного заряда РДС-37 на принципе радиационной имплозии и сверхмощного изделия 602. С докладами, посвящёнными разным аспектам деятельности А.Д. Сахарова, выступили академики РАН Р.И. Илькаев и А.Г. Арбатов. Своими воспоминаниями об Андрее Дмитриевиче и его многогранной деятельности поделились академики РАН А.М. Сергеев и Р.И. Нигматулин, а также известный популяризатор науки писатель В.С. Губарев.

В память выдающегося отечественного учёного и страстного общественного деятеля мы публикуем прозвучавшие на заседании доклады.

Ключевые слова: Атомный проект, физика высоких плотностей энергии, ядерная физика, радиационная имплозия, Московский международный договор о запрещении ядерных испытаний в атмосфере, в космосе и под водой.

DOI: 10.31857/S0869587321120069

Академик Андрей Дмитриевич Сахаров (1921–1989)

ИЛЬКАЕВ Радий Иванович – академик РАН, почётный научный руководитель РФЯЦ ВНИИЭФ.

Андрей Дмитриевич Сахаров родился в Москве. Его мать Екатерина Алексеевна Сахарова (урождённая Софиано) была дочерью дворянина и потомственного военного Алексея Семёновича Софиано, вышедшего в отставку в 1917 г. в чине генерал-лейтенанта. Бабушка со стороны матери Зинаида Евграфовна происходила из старинного дворянского рода Мухановых [1]. Отец, Дмитрий Иванович Сахаров, был преподавателем физики в педагогических институтах, методистом, популяризатором физики и автором многих учебников. Его “Сборник задач по физике” выдержал 13 изданий и был очень популярен у преподавателей и учащихся.

Три поколения предков со стороны отца были священнослужителями. Традицию прервал Иван Николаевич Сахаров (дед А.Д.) – адвокат и известный общественный деятель. В 1895 г. он стал основателем одной из первых в Арзамасском уезде бесплатной народной библиотеки (ныне Центральная районная библиотека им. И.Н. Сахарова) и был одним из составителей публицистического сборника “Против смертной казни” (1906). Его супруга (бабушка А.Д.) Мария Петровна бы-

А.Д. Сахаров в детстве

ла, как о ней говорили, “человеком совершенно исключительных душевных качеств”, происходила из обедневшего дворянского рода Домуховских Смоленской губернии.

Андрей Дмитриевич вспоминал: “Моё детство прошло в большой коммунальной квартире, где, впрочем, большинство комнат занимали семьи наших родственников и лишь часть – посторонние. В доме сохранялся традиционный дух большой крепкой семьи – постоянное деятельное трудолюбие и уважение к трудовому умению, взаимная семейная поддержка, любовь к литературе и науке. Мой отец хорошо играл на рояле, чаще Шопена, Грига, Бетховена, Скрябина. В годы гражданской войны он зарабатывал на жизнь, играя в немом кино. Душой семьи, как я это с благодарностью ощущаю, была моя бабушка Мария Петровна, скончавшаяся перед войной в возрасте 79 лет. Для меня влияние семьи было особенно большим, так как я первую часть школьных лет учился дома, да и потом с очень большим трудом сходился со сверстниками”. И далее: «Папа занимался со мной физикой и математикой, мы делали с ним простейшие опыты, и он заставлял аккуратно их записывать и зарисовывать в тетрадку... Ещё в 7 классе я начал дома делать физические опыты – сначала по папиной книге “Опыты с электрической лампочкой”, потом по его устной подсказке и самостоятельно».

Родители А.Д. Сахарова Дмитрий Иванович и Екатерина Алексеевна

В 1938 г. А.Д. Сахаров без экзаменов поступил на физический факультет МГУ, который окончил с отличием по специальности “Оборонное металловедение”. В июне-июле 1941 г. Андрей Дмитриевич работал в университетской мастерской по ремонту военной радиоаппаратуры. Позднее перешёл в изобретательскую группу, где по заданию ветеринарного управления армии занимался изготовлением опытного образца магнитного щупа для нахождения стальных осколков в теле раненых лошадей. Он писал о том времени: “Приобретённые знания в области магнитной дефектоскопии и физики магнитных и ферромагнитных явлений оказались мне чрезвычайно полезны позже при работе на патронном заводе...

Тогда же я вступил в ряды ПВО при университете и при домоуправлении. В первые же воздушные налёты на Москву я участвовал в тушении зажигалок и пожаров”.

С 1942 до 1945 г. по распределению А.Д. Сахаров работал на патронном заводе в г. Ульяновске, где сделал четыре изобретения в области контроля продукции (одно запатентовано) и выполнил несколько исследовательских работ. В середине 1943 г. Сахаров предложил метод контроля толщины латунного покрытия на оболочках пуль ТТ (для автоматов), который не требовал травления. В 1944 г. работал над созданием прибора для контроля бронебойных сердечников калибра 14.5 мм на наличие продольных трещин (пули, в которых были сердечники с трещинами, рвались в канале ствола противотанковых ружей). Совместно с А.Н. Протопоповым за несколько месяцев был изготовлен опытный образец прибора, одобренный специальной комиссией и принятый к эксплуатации вместо визуального осмотра, прибор использовался до 1946 г.

Дед академика по матери генерал-лейтенант Алексей Семёнович Софиано. 1914 г.

Дед академика по отцу Иван Николаевич Сахаров, адвокат, общественный деятель, почётный гражданин Нижнего Новгорода

В 1944 г. Сахаров написал несколько статей по теоретической физике и направил их в Москву. В 1945 г. он был принят в аспирантуру Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР. Его руководителем стал известный физик-теоретик И.Е. Тамм, впоследствии академик и лауреат Нобелевской премии по физике.

В июне 1948 г. в ФИАНе по постановлению Совета Министров СССР была создана исследовательская группа, в задачу которой входили теоретические и расчётные работы с целью выяснения возможности создания водородной бомбы: группа занималась проверкой и уточнением тех расчётов, которые велись в Институте химической физики в группе Я.Б. Зельдовича по проблеме детонации дейтерия в цилиндрическом сосуде (трубе). Тамм был назначен руководителем группы, 27-летний Сахаров, недавно защитивший диссертацию, включён в её состав. Кроме него в группу вошли С.З. Беленький, Ю.А. Романов, Н.Н. Боголюбов, И.Я. Померанчук, В.Н. Климов, Д.В. Ширков.

В 1948 г. правительством на КБ-11 было возложено проведение теоретических и экспериментальных исследований, подтверждающих возможность создания водородной бомбы, получившей обозначение РДС-6. Этим занялась группа Я.Б. Зельдовича, который тогда ещё работал в Институте химической физики. Одновременно такое же задание получил ФИАН. Анализируя расчёты группы Зельдовича, А.Д. Сахаров высказал основополагающие идеи о конструкции водородной бомбы, состоящей из атомного заряда, окружённого чередующимися слоями лёгких и тяжёлых активных материалов – слойке. Лежащий в её основе принцип ионизационного сжатия термоядерного горючего был назван “сахаризацией”. С этого момента работа над водородной бомбой велась по двум направлениям – трубе (РДС-6т) и слойке (РДС-6с).

Через год, летом 1949 г., А.Д. Сахаров впервые приехал в КБ-11, где ознакомился с конструкцией первой отечественной атомной бомбы РДС-1 и доложил о конструкции термоядерной бомбы РДС-6с. Согласно Постановлению СМ СССР № 827-303сс/оп “О работах по созданию РДС-6” от 26.02.1950 г. он был откомандирован на работу в КБ-11 сроком на 1.5–2 года.

После испытания первой атомной бомбы РДС-1 работы над конструкцией водородной бомбы по типу “слойка” стали приобретать конкретные очертания. Общее руководство осуществлял И.В. Курчатов, научным руководителем работ и главным конструктором был Ю.Б. Харитон.

К 1953 г. международная обстановка была напряжённой. США имели в 10 раз больше атомных зарядов, чем СССР, и более 1800 бомбардировщиков для их доставки. Кроме того, США доби-

лись крупных успехов в создании термоядерного оружия большой мощности. Многолетнее соперничество двух великих держав в создании всех видов ядерных вооружений началось после того, как были установлены первые исходные физические закономерности, используемые при разработке атомного и термоядерного оружия.

Разработка слойки потребовала использования всех имеющихся научно-производственных сил страны. На форсированные темпы работ не повлияли ни смерть И.В. Сталина, ни арест Л.П. Берии. 12 августа 1953 г. бомба РДС-6с была успешно испытана на Семипалатинском полигоне. Её мощность составила 400 кт в тротиловом эквиваленте. Четвёртое по счёту ядерное испытание стало выдающимся достижением советской оборонной науки и техники. Важное обстоятельство: изделие РДС-6с было выполнено в виде транспортабельной бомбы, совместимой со средствами доставки, то есть стало первым образцом термоядерного оружия. Созданная в связи с разработкой РДС-6с научная и технологическая база в дальнейшем позволила в очень короткие сроки подготовить и испытать термоядерный двухстадийный заряд РДС-37, который лёг в основу всего оборонного ядерного щита СССР и России [2].

Основные разработчики бомбы были отмечены высшими наградами страны. Особо выделили вклад А.Д. Сахарова, который получил звание Героя Социалистического Труда, Сталинскую премию I степени, а также был избран действительным членом АН СССР, минуя ступень члена-корреспондента.

Сразу после успешного испытания водородной бомбы РДС-6с в 1953 г. перед КБ-11 была поставлена следующая задача: создать термоядерный заряд мегатонной мощности. 20 ноября того же года Совет Министров СССР принял постановление о разработке “нового типа мощной водородной бомбы”. Существенный вклад в создание нового типа оружия внёс Сахаров.

Техническое задание на конструкцию двухступенчатой водородной бомбы РДС-37 было выдано 3 февраля 1955 г. Реализация этой разработки потребовала новых физических методов измерения быстропротекающих процессов, их моделирования с помощью появившихся к тому времени ЭВМ, проведения многочисленных исследований. С колоссальным напряжением работали технологи и производственники ядерного центра.

Расчётно-теоретические работы и уточнение конструкции РДС-37 продолжались вплоть до окончательной сборки и отправки бомбы на полигон. План завершающего этапа этих работ был утверждён Министром среднего машиностроения СССР А.П. Завенягиным 2 марта 1955 г., а 22 ноября 1955 г. РДС-37 был сброшен на Семипалатинском полигоне с самолёта-носителя Ту-16. Системой автоматики изделие было подорвано на высоте 1550 м. Его мощность составила 1.6 Мт. В тот же день Н.С. Хрущёв сделал заявление о создании в СССР мощного термоядерного оружия. Успешным испытанием РДС-37 был совершён прорыв в решении проблемы термоядерного оружия, а сам заряд явился прототипом всех последующих советских двухстадийных термоядерных зарядов.

Этот успех позволил говорить о достижении паритета с США в условиях, когда основную роль в ядерных вооружениях стало играть термоядерное оружие – оружие сдерживания. Оно было развёрнуто в полном объёме, что означало, что глобальный военный конфликт с нашей страной стал невозможным. Это был исторический шаг в обеспечении долгосрочного мира, существенный вклад в решение этой задачи внесли “Росатом” (в те годы Минсредмаш) и Академия наук. В этой напряжённой работе участвовали коллективы РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина, ВНИИА им. Н.Л. Духова.

Президиум Верховного Совета и Совет Министров СССР высоко оценили труд разработчиков водородной бомбы РДС-37. Я.Б. Зельдович (в третий раз), А.Д. Сахаров (во второй) и Е.А. Негин получили звание Героя Социалистического Труда; И.В. Курчатов, Ю.Б. Харитон, Я.Б. Зельдович, А.Д. Сахаров стали лауреатами Ленинской премии.

После окончания моратория на ядерные испытания в 1961 г. соперничество великих держав продолжалось и в СССР приступили к созданию сверхбомбы большой мощности [3]. Её разработка была начата в 1956 г. в НИИ-1011 и получила название “проект 202”. Этот проект представлял собой развитие принципов РДС-37 и был ориентирован на достижение энерговыделения в 30 Мт. Но проект не был реализован. Теперь речь шла о термоядерном заряде с энерговыделением 100 Мт, который был размещён в корпусе авиабомбы (проект 20Х). На этом этапе работы велись во ВНИИЭФ.

Особенность этого заряда состояла в том, что его большой объём, обусловленный высоким энерговыделением, требовал значительного количества энергии рентгеновского излучения для осуществления имплозии. Предложенные ядерные заряды не удовлетворяли этому условию, поэтому в качестве первичного источника сверхмощного заряда использовался разработанный ранее двухстадийный термоядерный заряд с относительно небольшим энерговыделением.

Другая особенность сверхмощного заряда была связана с обеспечением его натурных испытаний. Полномасштабное испытание заряда с энерговыделением в 100 Мт привело бы к значительному выделению радиоактивности, опреде-

ляемой продуктами деления U-238. Кроме того, специфика условий сброса авиабомбы не обеспечивала достаточной высоты взрыва, чтобы исключить касание огненного шара поверхности земли. Поэтому по инициативе Сахарова мощность бомбы была снижена до 50 Мт. Доля энерговыделения, определяемого реакциями деления, составила при этом 3%. Таким образом, испытание сверхбомбы было проведено экологически относительно безопасным образом.

Заряд был успешно испытан 30 октября 1961 г. Ядерный гриб поднялся на высоту 67 километров, а ударная волна трижды обогнула земной шар. Создание и испытание сверхбомбы имело важное политическое значение. Кроме того, в отчёте об испытаниях Сахаров отметил, что успешное испытание доказало возможность конструировать на этом принципе заряды практически неограниченной мощности. За успешную подготовку и проведение ядерных испытаний изделия "602" и серии ядерных испытаний 1961–1962 гг. большая группа специалистов ВНИИЭФа, среди них и А.Д. Сахаров, получила звание Героя Социалистического Труда. Сорок два человека стали лауреатами Ленинской премии.

5 августа 1963 г. был заключён Московский международный договор о запрещении ядерных испытаний в атмосфере, космосе и под водой. А.Д. Сахаров гордился тем, что был одним из его инициаторов.

Сейчас действует Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), а значит, необходимо добиться надёжности, безопасности и эффективности термоядерного оружия без натурных ядерных испытаний. Для физиков это своего рода вызов. Но учитывая, что действие термоядерного оружия подчиняется фундаментальным законам физики, эта задача может быть решена, чтобы на многие десятилетия обеспечить надёжность и безопасность ядерного оружия без полигонных испытаний. Главное условие здесь – научное обеспечение деятельности в этой области. Академия наук, используя свой мощный научный потенциал, создала научную часть "Росатома". Но сейчас необходимо укреплять связи наших ядерных центров с институтами РАН – иначе мы эту задачу не решим. То есть мы должны совместно строить установки, создавать математические программы, готовить квалифицированные кадры. Почему для нас так важно решить эту задачу? Да потому что при нашей огромной, но малонаселённой территории у нас нет другой защиты.

Чрезвычайно существенна научная составляющая обеспечения паритета в ядерной области. Именно благодаря тому, что у нас была сильная наука, даже в отсутствие Сахарова (когда он был в Горьком) работы по поддержанию паритета успешно продолжались. Во всех серьёзных проектах наши ядерные центры пусть и догоняли американцев (ведь гонку вооружений начали они), но всегда отвечали адекватно, быстро и квалифицированно.

Сейчас много говорится о взаимодействии Академии наук и ядерных центров. Но этого мало – нужна специальная совместная научная программа РАН и "Росатома". Думаю, что это рано или поздно будет сделано. Сейчас мы пытаемся создать Национальный центр физики и математики около ядерного центра в Сарове. Академия наук очень нам помогает, как и многие институты. И это вселяет надежду, что нам удастся осуществить этот проект. Нельзя забывать, что благодаря Академии наук и "Росатому" Россия стала сверхдержавой, что если поставлены чёткие и ясные цели, наша страна может решить любую задачу, потому что у нас есть всё – и опыт, и традиции, и кадры, и даже ресурсы. Нужны разумная концепция, политическая воля и единство нашего общества.

Почти 20 лет жизни и работы А.Д. Сахарова в КБ-11 было отдано конструированию термоядерного оружия, которое стало основой ядерного сдерживания и сделало третью мировую войну невозможной. Под руководством и при непосредственном участии Андрея Дмитриевича был создан ряд водородных зарядов для различных носителей (баллистических, крылатых и зенитноуправляемых ракет, торпед и др.), которые стали основой отечественного ядерного щита. В своём последнем интервью (1990) Сахаров сказал: "Мы исходили из того, что эта работа – практически война за мир. Работали с огромным напряжением, с огромной смелостью... Со временем моя позиция во многом менялась, я многое переоценил, но всё-таки я не раскаиваюсь в этом начальном периоде работы, в которой я принимал с моими товарищами активное участие".

В воспоминаниях о Сахарове-учёном его коллеги единодушно отмечают необычайную широту его научных интересов, удивительную независимость, оригинальность и образность научного мышления. Опыт работы с Андреем Дмитриевичем оказал большое влияние на целое поколение физиков-теоретиков и экспериментаторов.

В 1991 г. в Сарове в память о выдающемся учёном, одном из главных создателей отечественного термоядерного оружия, имя Андрея Дмитриевича Сахарова было увековечено в названии улицы, до сих пор сохраняющей облик и дух той эпохи. На стенах зданий, в которых он жил и работал, установлены мемориальные доски. К столетию со дня рождения А.Д. Сахарова 21 мая 2021 г. в Сарове в сквере на проспекте Мира открыт па-

Памятник А.Д. Сахарову в Сарове, установленный 21 мая 2021 г.

мятник молодому Сахарову, выдающемуся физику-теоретику.

В трудные исторические моменты в России всегда находились замечательные граждане нашей великой страны – и полководцы, и руководители, и научно-технические лидеры, и врачи, и представители великой российской культуры, которые делали всё возможное для защиты нашего Отечества. К этой плеяде патриотов принадлежит и академик Андрей Дмитриевич Сахаров, которого мы всегда будем помнить.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сахаров А.Д.* Воспоминания. В двух томах. Т. 1. М.: Права человека, 1996.
2. *Андрюшин И.А., Илькаев Р.И., Чернышёв А.К.* Решающий шаг к миру. Водородная бомба с атомным обжатием РДС-37. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010.
3. *Андрюшин И.А., Илькаев Р.И., Чернышёв А.К.* “Слойка” Сахарова. Путь Гения. 2-е изд., исправленное. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1104–1107

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

ИДЕИ АКАДЕМИКА А.Д. САХАРОВА И СТРАТЕГИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ

© 2021 г. А. Г. Арбатов

Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия

E-mail: alarbatov@gmail.com

Поступила в редакцию 31.05.2021 г.
После доработки 20.06.2021 г.
Принята к публикации 05.08.2021 г.

Ключевые слова: Андрей Дмитриевич Сахаров, ядерное сдерживание, стратегическая стабильность, договоры по ограничению ядерного оружия, факторы нестабильности.

DOI: 10.31857/S0869587321120033

Академик А.Д. Сахаров не был первым, кто сформулировал идею ядерного сдерживания, то есть сдерживания агрессии других держав путём угрозы применения ядерного оружия. Однако он был первым, кто публично обнародовал и поддержал эту концепцию в Советском Союзе, где она тогда клеймилась как "агрессивная доктрина империализма". Он был первым и тогда единственным в нашей стране, кто утверждал, что лишь сдерживание ядерного нападения является оправданной и законной функцией ядерного оружия (с чем и теперь согласны немногие и что не совпадает с положениями российской Военной доктрины). Он был первым, кто провозгласил необходимость ядерного сдерживания в двустороннем формате – взаимного ядерного сдерживания. И безусловно, он был первым (и последним) публичным советским приверженцем этой идеи среди тех, кто внёс весомый вклад в развитие ядерного оружия СССР.

В 1983 г. Сахаров писал: "Я убеждён: ядерное оружие имеет смысл только как средство предупреждения ядерной же агрессии потенциального противника, т.е. нельзя планировать ядерную войну с целью её выиграть" [1]. На этой основе впоследствии возникла концепция стратегической стабильности, которая имеет достаточно конкретное для научного анализа содержание. Она вполне осязаемо связана с понятием ядерного сдерживания, лежащего ныне в основе национальной безопасности, стратегических отношений и политической полемики великих держав.

Концепция стратегической стабильности. Как показал опыт холодной войны, без договоров по ограничению ядерного оружия (ЯО) ядерное сдерживание стимулирует гонку вооружений, периодически обостряет угрозу ядерной войны и влечёт за собой большие материальные затраты. Исходя из этого опыта с начала 1960-х годов создавалась система контроля над ядерным оружием.

Первые три договора непосредственно по ограничению конкретных ядерных вооружений (Договор по ПРО и Временное соглашение ОСВ-1 от 1972 г. и Договор ОСВ-2 от 1979 г.) опирались на принцип паритета ("равенства и одинаковой безопасности"). После 1990 г. в основу соглашений по ограничению и сокращению наступательных стратегических вооружений (СНВ) был поставлен более ёмкий принцип стратегической стабильности. Он не был благим пожеланием в духе "миру–мир", а имел вполне конкретное стратегическое и военно-техническое содержание. Поэтому данная концепция служила фундаментом переговоров и соглашений в последние 30 лет и стала связующим звеном между ядерным сдерживанием и международной безопасностью.

Понятие "стратегическая стабильность" было сформулировано как правовая норма в июне 1990 г. в Совместном Заявлении России и Соединённых Штатов [2]. Это понятие определялось как стратегические отношения, *устраняющие стимулы для нанесения первого ядерного удара*. Для формирования таких отношений будущие договоры о сокращении стратегических наступатель-

АРБАТОВ Алексей Георгиевич – академик РАН, руководитель Центра международной безопасности ИМЭМО РАН.

ных вооружений (СНВ) должны были включать ряд согласованных элементов:

• *взаимосвязь между стратегическими наступательными и оборонительными вооружениями* (чтобы оборона не могла ослабить ответный удар другой стороны);

• *уменьшение концентрации боезарядов на стратегических носителях* (чтобы одним носителем с несколькими боезарядами нельзя было поразить на стартовых позициях несколько носителей противника с гораздо большим числом боезарядов);

• *оказание предпочтения средствам, обладающим повышенной выживаемостью* (чтобы их невозможно было уничтожить до запуска упреждающим ударом).

Важно подчеркнуть, что эти принципы не являлись теоретическими построениями, а были согласованы в качестве рабочей схемы Договора СНВ-1 (1991). В дальнейшем они нашли отражение в пяти последующих договорах, включая текущий Договор СНВ-3 (2010)[1]. За эти годы стратегические боезаряды были сокращены в 7 раз, носители – в 3 раза, но это не было главным и не являлось самоцелью. Гораздо важнее – и именно это стало побудительным мотивом соглашений, что ракетно-ядерный баланс России и США обрёл наибольшую устойчивость в качестве барьера предотвращения ядерной войны, чем когда-либо прежде. Это означает, что ни одна из двух сторон не имеет возможности нанести первый ядерный удар, который настолько обезоружит противника, что позволит отразить его ослабленный ответный удар с помощью систем стратегической обороны (ПРО и ПВО).

Тем не менее в силу ряда обстоятельств стратегическая стабильность в настоящее врем опасно расшатывается, то есть снижается её эффективность в выполнении главной миссии – предотвращения ядерной войны. Эти обстоятельства связаны с военно-техническим развитием, распадом режимов контроля над ядерным оружием, а также с изменением общего, в том числе ядерного, миропорядка. Все эти моменты вызывают к жизни новые стратегические и оперативные концепции, повышающие опасность ядерной войны в вероятной кризисной ситуации.

Академик Сахаров был первым, кто почти сорок лет назад предвидел подобное развитие событий, когда писал: “Сегодня мы вновь спрашиваем себя – является ли взаимное ядерное устрашение сдерживающим фактором на пути войны... Я убеждён, что... равновесие ядерного сдерживания становится всё более неустойчивым и опасность человечеству погибнуть, если случайность или безумие, или неконтролируемая эскалация вовлекут его во всеобщую термоядерную войну – всё более реальной” [3].

Факторы дестабилизации. Причины стратегической дестабилизации прежде всего связаны с развитием военных технологий, в первую очередь высокоточных ударных систем большой дальности в обычном оснащении. Они создают опасность нападения с применением высокоточных обычных систем оружия против ядерных сил друг друга. Эффект “переплетения” (“смешивания”) ЯО и высокоточных обычных вооружений, в том числе новейших гиперзвуковых ракетно-планирующих, прямоточных и аэробаллистических систем, – важнейший дестабилизирующий фактор современной стратегической обстановки. Именно этот фактор способен в случае вооружённого столкновения великих держав повлечь неуправляемую эскалацию конфликта. Указанная опасность тем более велика, что расширяется развёртывание носителей двойного назначения – с ядерным или обычным боезарядом. В случае их применения характер удара – ядерный или неядерный – нельзя будет определить до момента подрыва боевой части носителя.

Не менее угрожающий фактор нестабильности – это вероятность применения ядерного оружия на локальном или региональном уровне обычного конфликта в целях его прекращения на приемлемых для себя условиях. США вменяют России планирование ограниченного применения ЯО в рамках концепции “эскалации ради деэскалации” [4] и противопоставляют ей свои аналогичные концепции и системы ядерного оружия пониженной мощности [5]. Академик Сахаров первым предвидел и эту угрозу, когда десятилетия назад указывал: “Ни одна из сторон не должна иметь соблазна ограниченной или региональной ядерной войны” [3].

Все эти моменты должно учитывать обновлённое понимание стратегической стабильности и основанные на нём переговоры об ограничении вооружений с целью устранить как прежние, так и новые стимулы для любого применения ядерного оружия.

Повестка дня переговоров по контролю над вооружениями. За последние два года кризис контроля над вооружениями стал настолько очевидным, что был признан на высшем уровне власти России, многих европейских государств и в оппозиционных кругах США. В октябре 2020 г. на валдайской встрече президент В.В. Путин выразился вполне определённо: “У мира не будет будущего, если не будет каких-то ограничений в сфере гонки вооружений...” [6]. Особенный ущерб был нанесён отказом США от Договора по ракетам сред-

[1] Речь идёт о Договоре СНВ-2 (1993), Рамочном соглашении СНВ-3 (1997), соглашении о разграничении систем стратегической ПРО и противоракетной обороны ТВД (1997), Договоре СНП (2002), Договоре СНВ-3 (2010).

ней и меньшей дальности в 2019 г., что выбило второй краеугольный камень режима контроля над ядерным оружием после выхода США из Договора по ПРО в 2002 г.

Приход к власти администрации Дж. Байдена позволил в феврале 2021 г. продлить на 5 лет последнее соглашение в этой сфере – Договор СНВ-3. Однако десятилетняя пауза в контроле над вооружениями после 2011 г. не прошла даром. Даже не говоря о высоком уровне политической напряжённости между Россией и США, в подходе держав к существу вопроса возникли серьёзные противоречия. Впервые за полвека переговоров стороны изначально расходятся в принципиальном вопросе – главном предмете будущего договора. Коротко говоря, США хотят сократить *как стратегические, так и тактические ядерные вооружения,* а Россия стремится ограничить *как ядерные, так и неядерные стратегические вооружения*. И также впервые основная проблема связана не с традиционными стратегическими наступательными вооружениями – баллистическими ракетами подводных лодок и межконтинентальными ракетами наземного базирования (БРПЛ и МБР), тяжёлыми бомбардировщиками (ТБ), – а с побочными стратегическими и военно-техническими вопросами.

Российский подход состоит в том, чтобы развивать контроль над ядерными вооружениями не путём глубокого сокращения (то есть вглубь), но за счёт расширения охвата ограничиваемых систем оружия (то есть вширь), тем более что третьи ядерные государства вряд ли присоединятся к процессу в ближайшие пять лет. Видимо, именно такой путь подразумевается концепцией "уравнения безопасности", которую выдвинуло российское руководство[2]. По этой модели, помимо традиционных МБР, БРПЛ и ТБ, следует ограничить ракетно-планирующие и другие аэродинамические системы большой дальности в обычном оснащении авиационного, морского и, возможно, наземного базирования. Предполагается также ограничить системы ПРО и запретить орбитальные вооружения.

Расширение договора на небаллистические ракеты в обычном оснащении полностью соответствует концепции стратегической стабильности и отвечает на новейшие угрозы безопасности. Но договор предполагает решение сложнейших задач: согласование дефиниций ракетно-планирующих гиперзвуковых систем оружия, правил их засчёта и режима верификации, разграничение стратегических и оперативно-тактических крылатых ракет, развёрнутых и неразвёрнутых ракет и их носителей, а также идентификацию многоцелевых ракетных пусковых установок.

Предложение США ограничить все ядерные боеголовки с целью сократить тактическое ядерное оружие (ТЯО) может стать ещё бóльшим камнем преткновения. Ведь таким образом США в корне меняют повестку дня, и речь уже идёт не об СНВ, а в целом о развёрнутых и неразвёрнутых ядерных боеприпасах (ЯБП). Помимо стратегических боезарядов (БЗ)[3], все остальные ядерные боезаряды (ЯБЗ) в мирное время находятся в разнообразных хранилищах. Какой-либо согласованный потолок предполагает учёт и контроль непосредственно в хранилищах, на предзаводских складах заводов-изготовителей серийных боеприпасов, в секретных конструкторских лабораториях, а в пределе – в хранилищах ядерных оружейных материалов из ликвидированных боезарядов и даже на промышленных предприятиях обогащения урана и сепарации плутония.

Такой режим контроля связан с изрядными затратами, пересмотром стандартов секретности и гораздо большей степенью ядерной открытости, чем была даже в 1990-е годы, когда ядерные лаборатории России и США сотрудничали, осуществлялись программы Нанна–Лугара и ВОУ-НОУ [8, 9].

На нынешнем этапе переговоров по СНВ едва ли реалистично рассчитывать на большее, нежели политически обязывающие заявления обеих держав не наращивать общее количество их ядерных боеприпасов в любом месте пребывания и режиме хранения (тем более что они и так сокращают свои запасы). В этой связи можно согласовать некоторые меры добровольной открытости и меры доверия по аналогии со взаимным ограничением ядерных крылатых ракет морского базирования США и СССР в Договоре СНВ-1 и односторонними политическими инициативами США и СССР/РФ от 1991–1992 гг. по сокращению тактического ядерного оружия. А юридически обязывающее и контролируемое ограничение всех ЯБП лучше отложить на более отдалённое будущее ядерного разоружения, тем более что это предполагает участие третьих ядерных государств.

В контексте переговоров по СНВ новый договор об ограничении систем ПРО маловероятен. С момента Договора по ПРО 1972 г. две стороны далеко разошлись в техническом развитии противоракетных систем, их базировании, предназначении и "адресате". Уложить столь различные

[2] Замминистра иностранных дел РФ С.А. Рябков объяснил её так: "По сути, мы предлагаем расширить стратегическую повестку дня и включить в неё все наступательные и оборонительные вооружения, как ядерные, так и неядерные, способные решать стратегические задачи" [7].

[3] Боезаряд (БЗ) является условной единицей количественного ограничения ядерных сил по СНВ. Ядерный боезаряд (ЯБЗ) или ядерный боеприпас (ЯБП) – реальная (физическая) ядерная боеголовка или авиабомба на любом носителе или в хранилище.

системы и программы в новый единый равноправный договор исключительно трудно. Тем не менее остроту противоречий следовало бы как минимум смягчить путём мер доверия и предсказуемости и обсуждать их в специальной группе переговоров, как при подготовке Договора СНВ-1 в 1990–1991 гг.

Вопрос о космическом оружии целесообразно рассматривать отдельно, параллельно с переговорами по СНВ, чтобы не завести их в многолетний тупик. Одна трудность связана с разграничением орбитальных систем оружия (которых пока нет) и уже созданных противоспутниковых систем наземного, морского и воздушного базирования. Вторая проблема – в ограничении многоцелевых противоспутниковых систем, которые трудно отделить от систем ПРО, систем направленной передачи энергии (РЭБ, лазерных), орбитальных шаттлов и маневрирующих спутников, сближающихся с космическими аппаратами других стран. Начать можно было бы с принятия российско-китайского проекта Договора по этому вопросу 2008 г. в качестве политически обязывающего кодекса безопасного использования космического пространства, а параллельно начать переговоры об ограничении развития конкретных систем космического (в первую очередь противоспутникового) оружия и регламентации потенциально угрожающих орбитальных манёвров.

Полувековой опыт стратегических переговоров показал, что преодоление даже очень больших препятствий и противоречий сторон возможно при наличии политической воли и реалистического мышления государственных руководителей, высокого профессионализма и упорного труда гражданских и военных специалистов. Сегодня потребность в таких ресурсах велика как никогда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Опасность ядерной войны. Открытое письмо доктору Сиднею Дреллу, февраль 1983. https://www.yabloko.ru/Themes/History/sakharov_atom.html
2. Совместное заявление относительно будущих переговоров по ядерным и космическим вооружениям и дальнейшему укреплению стратегической стабильности. Государственный визит Президента СССР М.С. Горбачёва в Соединённые Штаты Америки, 30 мая – 4 июня 1990 года. Документы и материалы. М.: Политиздат, 1990. С. 197–199; Soviet–United States Joint Statement on Future Negotiations on Nuclear and Space Arms and Further Enhancing Strategic Stability. 01.06.1990. http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=18541 (accessed 15.03.2018).
3. Письмо по поводу присуждения премии имени Лео Сцилларда, апрель 1983. https://www.sakharov-center.ru/asfcd/auth/?t=page&num=2095
4. Актуальные задачи развития Вооружённых сил Российской Федерации // Красная звезда. 11.10.2003. http://old.redstar.ru/2003/10/11_10/3_01.html (дата обращения 02.02.2018).
5. Nuclear Posture Review. Office of the Secretary of Defense. February 2018, Washington, DC. https://media.defense.gov/2018/Feb/02/2001872886/-1/-1/1/2018-NUCLEAR-POSTURE-REVIEW-FINAL- (accessed 01.03.2018).
6. Владимир Путин в режиме видеоконференции принял участие в итоговой пленарной сессии XVII ежегодного заседания Международного дискуссионного клуба “Валдай”. 22 октября 2020 г. http://www.kremlin.ru/events/president/news/64261
7. Рябков: Россия предлагает США включить в стратегическую повестку безъядерные вооружения. ТАСС. 27.01.2021. https://tass.ru/politika/10557045 (дата обращения 14.02.2021).
8. *Рыбаченков В.* Российско-американское сотрудничество по программе совместного уменьшения угрозы. Стенограмма лекции, состоявшейся 18 апреля 2002 г. в Московском физико-техническом институте для слушателей курса “Стратегические вооружения и проблемы безопасности”. М.: Центр по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ. Ч. 2. https://armscontrol.ru/course/lectures/rybachenkov4.htm (дата обращения 14.02.2021).
9. *Козичев Е.* Как работала программа Нанна–Лугара. История вопроса // Коммерсантъ. 10.10.2012. № 190 (4975).

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1108–1114

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ В РОССИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

© 2021 г. Б. Н. Четверушкин[a],*, М. В. Якобовский[a],**

[a] *Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия*

**E-mail: chetver@imamod.ru*

***E-mail: lira@imamod.ru*

Поступила в редакцию 01.05.2021 г.
После доработки 02.06.2021 г.
Принята к публикации 16.08.2021 г.

Статья посвящена развитию и применению суперкомпьютеров и суперкомпьютерных технологий, являющихся важнейшим фактором научно-технического и социального прогресса, для решения задач, требующих больших вычислительных мощностей. Рассматриваются тенденции применения суперкомпьютеров, обсуждается уровень оснащения передовых стран суперкомпьютерными ресурсами. Приводятся примеры задач, решение которых невозможно без привлечения вычислительных мощностей уровня десятков петафлопс. Статья подготовлена на основе доклада, заслушанного на заседании президиума РАН 16.02.2021 г.

Ключевые слова: математическое моделирование, суперкомпьютерные технологии, пилотные задачи, предсказательное моделирование, центр коллективного пользования, большие данные, национальная безопасность.

DOI: 10.31857/S0869587321120057

Интенсивный рост производительности вычислительных систем подтверждает тот факт, что математическое моделирование на вычислительных системах высокой и сверхвысокой производительности, включая обработку больших данных (big data), является важнейшим фактором научно-технического и социального прогресса. Согласно списку Топ-500 [1] за ноябрь 2020 г. японский суперкомпьютер “Фугаку” обладает пиковой производительностью 537 петафлопс[1], что почти в 3 раза превышает производительность лидера ноябрьского списка 2019 г.

С помощью суперкомпьютерных технологий удаётся получать не только новые знания, но и осуществлять создание новой техники и технологий значительно более быстрым и менее затратным путём. Совещания, проведённые в РАН с участием представителей академической науки и генеральных конструкторов оборонно-промышленного комплекса, подтверждают острую необходимость применения методов компьютерного моделирования при разработке новой техники. Это особенно актуально в условиях запрета на передачу в Россию материалов и технологий со сто-

ЧЕТВЕРУШКИН Борис Николаевич – академик РАН, научный руководитель ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. ЯКОБОВСКИЙ Михаил Владимирович – член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе ИПМ. им. М.В. Келдыша РАН.

[1] Один петафлопс соответствует производительности в 10^{15} операций с плавающей запятой в секунду.

Таблица 1. Список высокопроизводительных вычислительных систем

Позиция в списке	Название сисиемы	Страна, год попадания в список	Пиковая производительность, ПФлопс	Потребляемая мощность, МВт
1	Fugaku	Япония, 2020	537	29.9
2	Summit	США, 2018	201	10.1
3	Sierra	США, 2018	125	7.4
4	Sunway TaihuLight	Китай, 2016	125	15.4
7	JUWELS Booster Module	Германия, 2020	71	1.8
8	HPC5	Италия, 2020	52	2.3
10	Dammam-7	Саудавская Аравия, 2020	55	н/д
40	Christofari	Россия, 2020	6.6	8.8
156	Lomonosov 2	Россия, 2018	4.9	н/д
500	Internet company T FF1	Китай, 2018	2.4	н/д

роны западных стран. Другая сфера применения суперкомпьютерных технологий – обработка имеющихся больших объёмов информации, что оказывает существенное влияние на принятие обоснованных решений в различных областях государственного управления. Суперкомпьютерные технологии являются важным фактором обеспечения национальной безопасности России. В таблице 1 представлены некоторые высокопроизводительные вычислительные системы мира и России [1].

На хозяйственных активах, проводившихся в Институте прикладной математики под руководством академика Мстислава Всеволодовича Келдыша, всегда возникали жёсткие споры о том, сколько машинного времени выделить той или иной группе, тому или иному отделу: “Вот было бы у нас 10–15 мегафлопс, – а тогда у нас основной мегафлопсной машиной была БЭСМ-6, – мы бы все проблемы решили”. Мстислав Всеволодович со своей обычной ироничной доброй усмешкой отвечал: “Вот дашь вам 15 мегафлопс, через полгода вы придёте, скажете: давайте 100 мегафлопс. Дашь 100 мегафлопс, – через полгода – гигафлопс давайте”. Эта тенденция сейчас повторяется.

Обратим внимание на некоторые строки таблицы 1. На позиции 7 представлены сведения о вычислительной системе суперкомпьютерного центра германского города Юлих, имеющей пиковую производительность 70 петафлопс. На позиции 10 списка расположена вычислительная система Саудовской Аравии, обладающая пиковой производительностью 55 петафлопс. Наличие этих систем показывает высокую востребованность суперкомпьютерных технологий на всех направлениях, не только фундаментальных, но и сугубо коммерческих. Уже объявлены планы о достижении к 2023 г. рубежа в 1 экзафлопс (10^{18} флопс). Установку подобных систем планируют Соединённые Штаты Америки, Евросоюз, Китай. НАСА планирует к 2030 г. достигнуть производительности 30 экзафлопс.

Контрастно выглядит в этом свете самая крупная вычислительная система России – “Кристофари”, производительностью около 9 петафлопс, установленная в Сбербанке. Самая мощная российская система в мировом рейтинге занимает лишь сороковое место. Вторая и последняя попавшая в список отечественная система расположена на 156-м месте списка, с производительностью 4.9 петафлопс. Следует отметить, что последние полторы сотни позиций (производительность порядка полутора-двух петафлопс) занимают системы множества стран, среди которых: Китай (59 систем), США (39 систем), Нидерланды (15 систем), Ирландия (14 систем), Япония (5 систем), Англия (4 системы), Сингапур (4 системы). Системы такого класса есть в Канаде, Норвегии, Франции, на Тайване, в Чешской Республике, Бразилии, Гонконге. Сегодня в мире они служат рабочим инструментом, используемым для решения текущих задач, в том числе:

- 26 систем – в исследовательском и учебном секторах;
- 11 систем – в секторе государственного управления;
- 108 систем – в промышленном секторе;
- 13 систем – в академическом секторе.

Руководству Сбербанка следует адресовать вполне заслуженные комплименты. По сути дела,

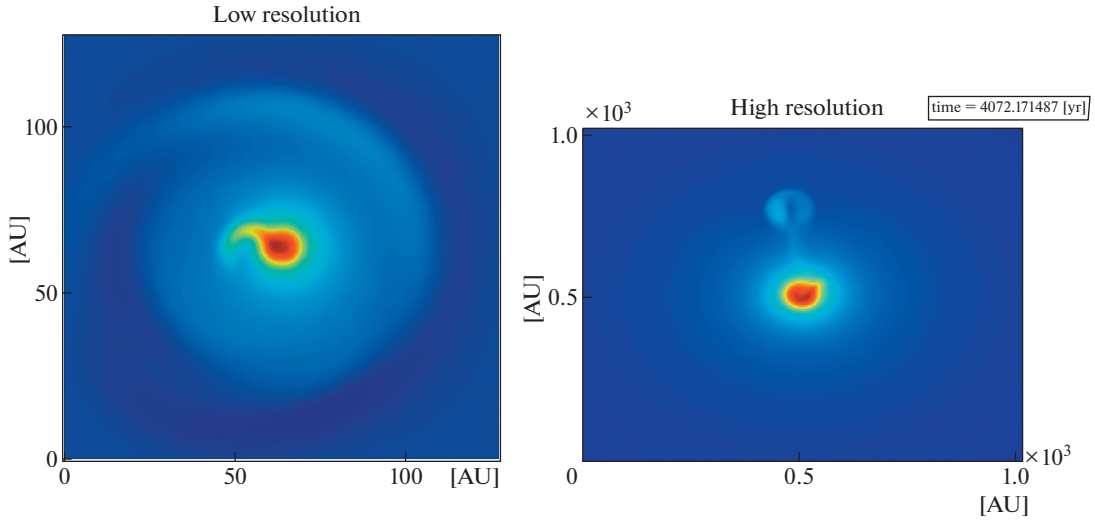


Рис. 1. Результаты моделирования динамики поглощения вещества галактики чёрной дырой [2]

оно вовремя уловило грядущую трансформацию банковской сферы, которая будет неразрывно связана с интенсивным использованием высокопроизводительных систем.

Но вернёмся к Германии. Мы многие годы очень тесно сотрудничаем, несколько лет подряд проводили симпозиумы совместно с руководством немецких вычислительных центров. В Германии создана целая линейка суперкомпьютерных центров: в Юлихе, Штутгарте, других городах, причём определилась специализация этих центров. Суперкомпьютерный центр г. Юлих выполняет функции головного. Там отрабатывают численные методы, решают пилотные задачи. Дрезден специализируется на моделировании социальных проектов, на решении задач больших данных, Гамбург – на физике высоких энергий, Мюнхен – на задачах энергетики, Штутгарт – на авиакосмической и автомобильной промышленности, городской экологии.

К примеру, компания "Мерседес-Бенц" проводит моделирование различных узлов и технологий, решает задачи, связанные с лазерной сваркой, горением и другие. Центр города Штутгарт оснащён эффективными средствами трёхмерной визуализации результатов суперкомпьютерного моделирования, обеспечивающими возможность наглядного восприятия и всестороннего изучения многомерных процессов. Входишь в камеру сгорания – вокруг текут потоки раскалённых газов разной концентрации. Можно своими глазами увидеть особенности распределения ключевых параметров и определить направления оптимизации конструкций с целью обеспечения требуемых режимов работы, например, уменьшения выхлопа вредных газов.

Показательно что, если характерная производительность основных суперкомпьютерных центров Германии года три-четыре назад была на уровне 5–10 петафлопс, то сейчас она уже вышла на уровень 25–50 петафлопс. В Германии порядка 10 таких систем специализируются на проведении исследований в интересах разных отраслей промышленности.

Значительный интерес суперкомпьютерные системы представляют и с точки зрения расширения возможностей проведения не только прикладных, но и фундаментальных исследований. Рассмотрим несколько примеров, иллюстрирующих наши возможности и показывающих, что мы теряем, не имея вычислительных систем, доступных зарубежным специалистам.

$$\frac{d\rho}{dt} + \mathrm{div}\rho\mathbf{u} = 0$$

$$\frac{d\rho\mathbf{u}}{dt} + \mathrm{div}\left[\rho\mathbf{u}\times\mathbf{u} + B_k B_p\right] + \nabla\left(p + \frac{\mathbf{B}^2}{8\pi}\right) = \mathrm{div}P_{NS}$$

$$\frac{d\rho E}{dt} + \mathrm{div}\left[\left(E + p + \frac{\mathbf{B}^2}{8\pi}\right)\mathbf{u}\right] = \mathrm{div}\mathbf{q} + \mathrm{div}P_{NS}\mathbf{u} \quad (1)$$

$$\frac{d\mathbf{B}}{dt} = \mathrm{rot}\mathbf{u}\times\mathbf{B} + \mathrm{rot}v_m\ \mathrm{rot}\mathbf{B}$$

$$\mathrm{div}\mathbf{B} = 0$$

$$\Delta\Phi = 4\pi G\rho$$

Соотношения (1) описывают систему уравнений магнитной газовой динамики, дополненной учётом гравитационного потенциала. Подобная добавка делает её решение сложнее на порядок, потому что требует совместного моделирования разномасштабных процессов. На рисунке 1 представлен наш расчёт поглощения чёрной дырой

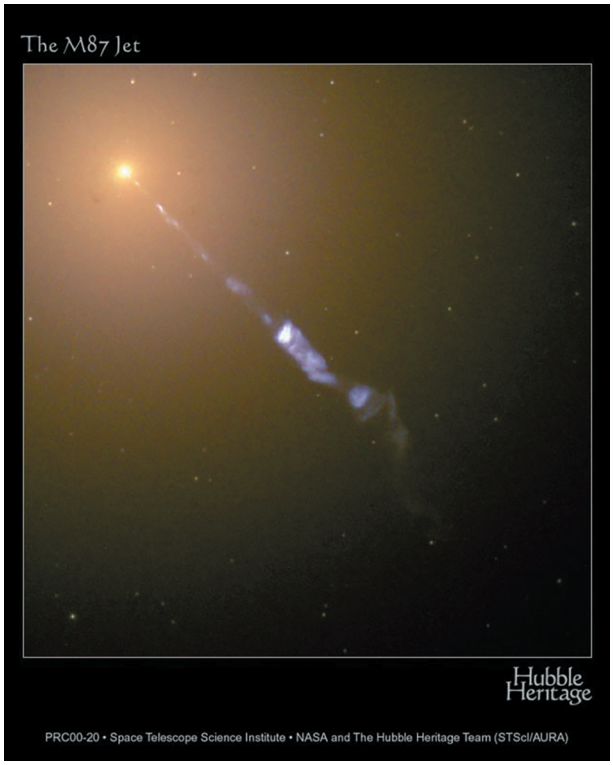


Рис. 2. Джет галактики M87 [3]

вещества галактики [2]. Здесь впервые видно, как образуется узконаправленная плазменная космическая струя. Подобные струи (джеты) наблюдаются астрофизиками в ряде звёздных систем (характерный пример представлен на рисунке 2). Не вдаваясь в детали вычислительного эксперимента, следует отметить, что расчёт проводился отечественными специалистами, но на иностранной машине (такая возможность была предоставлена Суперкомпьютерным центром Гамбурга). Правая часть рисунка 1 соответствует трёхмерному расчёту, выполненному на четырёх миллиардах пространственных расчётных точек. Если выполнять расчёт на менее подробной сетке (на 500 млн), то будет получен результат, представленный на левой части рисунка 1, на которой эффект возникновения джета не проявляется. Не образуется вихрь, не формируются те магнитные поля, которые выталкивают поток частиц. Не имея машин высокой производительности, мы не можем с помощью вычислительного эксперимента решать многие задачи фундаментальной науки, многие существенные эффекты не удаётся обнаружить.

И речь не только о задачах астрофизики. Широко известно, насколько важно совокупное рассмотрение различных масштабов турбулентности. При любом переходе от более крупного к более мелкому масштабу турбулентности сетку по каждому направлению следует увеличивать раз в

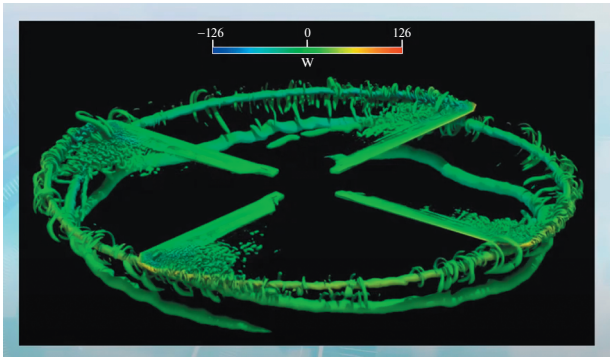


Рис. 3. Динамика обтекания воздухом винта вертолёта

пять. При решении задач горения тоже необходимы большие вычислительные мощности. Следует совокупно учитывать и газовую динамику, и химическую кинетику – процессы, имеющие совершенно разные характерные времена протекания. Для расчёта реактивного двигателя на 500 миллионах узлов только с энергетикой, без экологии, требуется три-четыре дня работы на петафлопсной машине. Если экологию учитывать, а сейчас все бьются за чистый выхлоп, необходимо принимать во внимание длинную цепочку химических реакций, что многократно увеличивает сложность – уже десятки петафлопс требуются. То есть мы, не располагая машинами большой мощности, и в фундаментальной науке, и в области совершенствования промышленных технологий теряем очень многое.

Приведём пример выполняемых нашими специалистами [4, 5] расчётов динамики взаимодействия с воздухом лопасти работающего винта вертолёта. Несмотря на разработку специальных мер для сокращения сетки вокруг каждой лопасти, предсказательное моделирование срыва вихрей, механизмов генерации шумов, определения подъёмной силы, которая в значительной мере зависит от профиля лопасти, требуются подробные сетки, содержащие порядка сотен миллионов пространственных точек. А если повысить детальность сетки по каждому направлению в 3 раза, придётся увеличить время трёхмерного расчёта минимум в 27 раз. Кроме того, следует учесть неизбежное уменьшение шага по времени, обусловленное сокращением размера ячейки расчётной сетки. Совокупно время расчёта увеличивается в 81 раз и более. Приведённые расчёты (рис. 3) выполнены на пределе возможностей вычислительной системы производительностью 0.2 петафлопса. Благодаря созданным методам мы можем эффективно использовать суперкомпьютеры производительностью в десятки петафлопс, но наши специалисты не имеют достаточного доступа к подобным вычислительным системам.

Обратим внимание на исследования, выполняемые в НАСА. Специалисты агентства решают задачи, используя миллиарды точек. Характерные затраты вычислительной мощности составляют миллионы ядрочасов[2] на каждый вариант. Правда, тут есть некая тонкость. При решении оптимизационных задач появляется необходимость выполнения большого числа независимых серий расчётов, что значительно облегчает проблему эффективного использования больших вычислительных мощностей. Появляется возможность для каждого варианта расчёта ограничиться небольшим числом (десятками тысяч) процессорных ядер, запуская одновременно множество независимых вариантов расчёта, каждый со своими значениями оптимизируемых параметров. Возможность задействовать большее число ядер (сотни тысяч) для каждого расчёта есть, но при этом снижается эффективность использования процессоров. В каких-то случаях это оправданно, но при решении оптимизационных задач и с точки зрения экономики, и с точки зрения сокращения общего времени счёта выгоднее одновременно запускать множество вариантов – каждый на относительно небольшом числе процессорных ядер. Данный способ не подходит для решения с высокой точностью больших сильносвязанных задач, подобных задачам, рассмотренным в первых двух примерах. Для них нужно именно большое число одновременно работающих над одним вариантом расчёта процессорных ядер и ускорителей.

Интересные работы, в том числе с точки зрения экологии, выполняются в ИБРАЭ и в ИВМ РАН по моделированию переноса радионуклидов в хранилищах радиоактивных материалов. В каждом расчёте используются десятки миллионов расчётных точек. Доступные в России вычислительные мощности позволяют делать прогноз на 10 тыс. лет. Однако зарубежные коллеги, изучая хранилище АЭС Форсмарк (Швеция), выполняют расчёты, используя миллиарды точек, и делают прогноз на миллион лет. Таким образом, в экологии мы тоже констатируем значительное отставание вследствие отсутствия мощных вычислительных систем.

Отметим такие модные сегодня направления, как искусственный интеллект и большие данные. Начнём с цифровой нутрициологии. Соответствующие работы начаты по инициативе академика В.А. Тутельяна совместно ИПМ им. М.В. Келдыша РАН и ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи [6–8]. Они направлены на формирование рационального питания с учётом различных факторов, в том числе возраста, пола, уровня доходов, национальных особенностей, физической активности, хронических заболеваний, разнообразия питания. Польза овсянки несомненна, но одной овсянкой питаться нельзя. При увеличении числа учитываемых математической моделью факторов в 2 раза объём необходимых вычислений увеличивается в десятки раз. Предварительно проведённые у нас расчёты показывают, что если рассматривать население России в целом, то для определения состава и планирования производства необходимых продуктов питания требуются вычислительные ресурсы порядка дня на системе производительностью в 10 петафлопс. Потребность проведения расчётов для построения и анализа подобных прогнозов есть. Здесь и медицина, и логистика продуктов питания. Созданную методологию можно применять и для планирования других массовых производств.

А, например, японская система “Фугаку” в значительной мере будет использована для моделирования процессов, связанных с пандемией коронавируса. Транснациональная нефтегазовая компания “Бритиш Петролеум” предоставляет для моделирования COVID-19 свой суперкомпьютер в Хьюстоне производительностью 16.3 петафлопс. В рамках проводимых на нём исследований рассматриваются разные аспекты моделирования: проникновение вируса через маску, многофакторное моделирование воздействия тех или иных мер на группы населения. Объём требуемых вычислений значительно и нелинейно зависит от размера региона: город с населением 100 тыс. человек и город-миллионник – это разные вещи. При увеличении численности рассматриваемой группы населения в 10 раз объём вычислений меняется не в 10 раз, а значительно больше. Многофакторное моделирование весьма требовательно к суперкомпьютерным ресурсам.

Другая насущная задача – мониторинг настроений населения на основе анализа интернет-сообщений. Мы сейчас занимаемся такими работами совместно с нашими коллегами из г. Снежинска. Создаваемые методы позволяют выявлять на основе интернет-сообщений COVID-алармистов, COVID-диссидентов, тех людей, которые крайне невротизированы ситуацией с пандемией, тех, кто понимает опасность выхода на улицу, но вынужден выходить по экономическим причинам. Всё это крайне важно для оценки эффективности и последствий управленческих решений. Очевидно, что чем больше факторов удаётся учесть и чем детальнее описать группы населения, тем достовернее будет прогноз, но на его выполнение требуются бóльшие, нежели доступные сейчас отечественным специалистам вычислительные мощности.

Важная область применения суперкомпьютеров – стратегическое планирование транспорт-

[2] Ядрочас – число вычислительных операций, выполняемых одним процессорным ядром за один час расчёта.

ных потоков, обеспечение связанности территории Российской Федерации. У нас ведутся работы по планированию оптимального использования авиапарка, планированию сети небольших транспортных хабов. Не обязательно летать через Москву. Пока мы пользуемся системами 0.15 петафлопс, но эти системы не позволяют строить модели, соизмеримые с масштабами страны. Если мы хотим рассматривать большие территории, особенно Крайний Север, Сибирь, то следует принимать во внимание не только авиапарк, но и автомобильный, железнодорожный, речной транспорт. Опять же в этом случае объём вычислений резко возрастает, и для планирования и прогнозов требуются большие вычислительные мощности [9].

Интересной областью исследований становится сейчас анализ катастроф, оценка рисков и парирование непредвиденных ситуаций. Здесь для быстрого принятия решений используются нейросети и машинное обучение. Но машинное обучение эффективно работает, если доступно много входных данных. Для наполнения обучающих выборок ведутся расчёты достаточно сложных виртуальных сценариев катастроф. В частности, в ИБРАЭ РАН рассматриваются штатные и нештатные режимы работы реакторов, для моделирования которых тоже нужны большие вычислительные мощности.

Ещё одной перспективной, представляющей значительный интерес областью интенсивного развития является проект “Безопасный город”. Его воплощение связано с оценкой настроений населения и парированием возможных техногенных и природных катастроф. Комплексный учёт множества факторов в реальном времени требует значительных вычислительных ресурсов. В этот же класс ресурсоёмких задач попадает проект “Цифровое месторождение углеводородов” и многие другие задачи, требующие для своего решения вычислительных мощностей порядка десятков петафлопс.

Обратим внимание на ряд вопросов фундаментального характера. Выше уже говорилось о том, что проще считать несколько сценариев, одновременно запуская не один, а несколько вариантов расчёта. Такая стратегия, вообще говоря, увеличивает общее число расчётов, поскольку эффективные алгоритмы оптимизации при планировании очередного изучаемого варианта принимают во внимание весь объём ранее полученной информации. При одновременном расчёте нескольких вариантов возникает необходимость одновременного планирования нескольких, а не одного варианта. Таким образом, для ряда вариантов при их планировании используется меньший объём информации по сравнению с последовательным расчётом. Тем самым некоторые из расчётов могут оказаться менее “полезными” или избыточными. Тем не менее с подобными издержками предпочитают мириться, поскольку они непосредственно обусловлены существованием сложной проблемы адаптации алгоритмов к архитектуре систем с экстрамассивным параллелизмом. Когда задействовано очень много вычислительных ядер, они мешают друг другу, как толпа людей, идущих через узкие двери. Нужны логически простые и эффективные алгоритмы, но найти их очень сложно. Сейчас идёт интенсивный поиск эффективных методов. По сути дела, это задача фундаментальной науки, фундаментальных аспектов прикладной математики. Следует отметить, что по этому направлению учёные России находятся не на последних местах, именно поэтому с нами сотрудничают. Это наше конкурентное преимущество, но если у нас не будет мощных машин, мы его утратим.

Нельзя сказать, что без суперкомпьютеров ничего не получается и не получится. И на существующей технике нам удаётся решать многие задачи за счёт методов, за счёт работы с зарубежными партнёрами или за счёт использования более простых, но адекватных математических моделей. Но мы подходим к пределу подобных возможностей. Мы неизбежно упускаем ряд нюансов, многие из которых имеют существенное значение. Для дальнейшего развития и поддержания паритета с иностранными конкурентами нужны высокопроизводительные машины.

Россия в силу логики научно-технического прогресса, геополитического положения обязана резко увеличить производительность своего вычислительного парка. Необходимо довести его хотя бы до уровня линейки вычислительных центров Германии. Однако по своим геополитическим амбициям мы не Германия. Это надо чётко осознавать. В Германии существует десяток 25–35-петафлопсных центров и производительностью масштаба 50 петафлопс, а у нас только суперкомпьютер Сбербанка “Кристофари”, чуть поменьше суперкомпьютер МГУ “Ломоносов” и всё. Не развивая в должной мере и должными темпами суперкомпьютерные ресурсы, мы обречены на технологическое отставание по всем стратегически важным направлениям. Конечно, вычислительный эксперимент – не единственный инструмент изучения свойств окружающего мира и развития новых технологий. Есть и натурный эксперимент, есть и головы наших физиков и химиков, но не имея достаточных вычислительных мощностей, мы себя обкрадываем и лишаем многих возможностей.

Надо создавать линейку центров высокой производительности. Должны быть запущены в эксплуатацию значительные региональные и университетские центры. Причём один из крупных

суперкомпьютерных центров, по аналогии с центром немецкого города Юлих, должен быть ориентирован на развитие фундаментальных методов решения вычислительно сложных многомасштабных мультидисциплинарных задач. В Российской академии наук сконцентрированы исследователи разных специальностей, необходимые для отработки методик и решения пилотных задач. Суперкомпьютерный центр РАН, возможно, и не самый крупный, но мощный, отстающий по производительности от первых позиций Топ-500 не более чем на порядок, может сыграть роль своеобразного экспериментального реактора, дающего новые знания и новые высокопроизводительные вычислительные методы и технологии. Это не только позволит успешно решать сложные задачи, но и обеспечит дальнейшее развитие отечественных высокопроизводительных программных продуктов, рынок которых в настоящее время крайне далёк от насыщения не только в России, но и в мире. Тем самым будет обеспечено сохранение, использование и дальнейшее развитие компетенций российских учёных и специалистов.

Средства на развитие вычислительной техники и отечественной элементной базы необходимо найти. В последней колонке таблицы 1 указана электрическая мощность, потребляемая машиной (не центром, а машиной, центр в целом требует существенно, на треть как минимум, больше). Потребляемая мощность измеряется мегаваттами, в связи с чем затратным оказывается не только создание, но и эксплуатация суперкомпьютерных центров. Тем не менее это тот случай, когда экономить преступно. Напомним, как в разорённой войной стране создали атомную промышленность. С тех пор мы пользуемся обеспеченной тогда безопасностью и созданными тогда технологиями, распространившимися далеко за пределы отрасли. Можно возразить, что тогда был другой общественный строй и другое отношение к правам человека. Да, действительно время изменилось, но вот другой пример – пандемия. На государственном уровне выделили средства, создали госпитали, вакцины, обеспечили поддержку малому и среднему бизнесу. Мы проходим эти испытания достойно во многом благодаря тому, что руководство страны выделило должные ресурсы.

Подводя итог, ещё раз отметим: сейчас главное – осознать опасность. Мы постоянно слышим от представителей властных структур: “А вот вы покажите, что эти высокопроизводительные вычислительные системы действительно нужны, для чего нужны, какой экономический эффект принесут”. Но, во-первых, потеря адекватного уровня оснащённости суперкомпьютерными ресурсами ведёт (за счёт деградации уровня развития ключевых цифровых технологий) к неконтролируемому росту угроз национальной безопасности России. А, во-вторых, нельзя игнорировать ориентиры, задаваемые технологическими лидерами. Сомнительно, что в ведущих мировых державах значительные средства расходуют необоснованно, впустую оснащая суперкомпьютерные центры передовой вычислительной техникой и предоставляя к ней широкий доступ исследовательским, университетским и коммерческим организациям. В-третьих, мнение РАН – ведущей экспертной организации России в области науки и технологий, однозначно: суперкомпьютерные системы высокой производительности необходимы для развития страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Список 500 суперкомпьютеров, ноябрь 2020 г. https://top500.org/lists/top500/2020/11/
2. *Четверушкин Б.Н., Д’Асчензо Н., Савельев А.В., Савельев В.И.* Кинетическая модель для магнитной газовой динамики // Математическое моделирование. 2017. № 3. С. 3–15.
3. Снимок космического телескопа им. Хаббла / Astronomy Picture of the Day 2000. July 6. https://apod.nasa.gov/apod/ap000706.html
4. *Бобков В.Г., Абалакин И.В., Козубская Т.К.* Методика расчёта аэродинамических характеристик винтов вертолёта на основе рёберно-ориентированных схем в комплексе программ NOISEtte // Компьютерные исследования и моделирование. 2020. № 5. С. 1097–1122.
5. *Абалакин И.В., Бобков В.Г., Козубская Т.К. и др.* Численное моделирование обтекания жёсткого винта в косом потоке // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2020. № 4. С. 105–116.
6. *Гавриков М.Б., Кислицын А.А., Орлов Ю.Н. и др.* Цифровая персонифицированная нутрициология: проблемы и решения // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2020. № 25.
7. *Orlov Y.N., Kislitsyn A.A., Kambarov A.O. et al.* Digital Nutrition: Spectral Portraits of Optimal Diet // Scientific Visualization. 2020. V. 12. № 2. P. 139–150.
8. *Тутельян В.А., Никитюк Д.Б.* Нутрициология и клиническая диетология. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020.
9. *Четверушкин Б.Н., Судаков В.А.* Факторное моделирование для инновационно-активных предприятий // Математическое моделирование. 2020. № 3. С. 115–126.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1115–1124

С КАФЕДРЫ ПРЕЗИДИУМА РАН

ОПАСНОЕ ОТСТАВАНИЕ В СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ НЕОБХОДИМО ПРЕОДОЛЕТЬ

ОБСУЖДЕНИЕ НАУЧНОГО СООБЩЕНИЯ

© 2021 г. С. С. Попов (составитель)

Журнал "Вестник Российской академии наук", Москва, Россия

E-mail: ssp1950@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2021 г.
После доработки 10.09.2021 г.
Принята к публикации 20.09.2021 г.

Высокопроизводительные вычисления на суперЭВМ – одна из наиболее интенсивно развивающихся областей научных исследований, имеющих важные практические приложения. К сожалению, в сфере создания и использования суперкомпьютеров Россия в настоящее время значительно отстаёт от передовых стран. Реально ли преодолеть многолетнее отставание? В статье представлены материалы обсуждения этой проблемы на одном из заседаний президиума РАН. Оно было приурочено к 110-годовщине со дня рождения выдающегося советского учёного и организатора науки академика М.В. Келдыша, много сделавшего для развития вычислительной математики и её инструментария в Советском Союзе. Участники обсуждения подробно рассказали о больших возможностях, которые открывают вычислители высокой производительности в фундаментальных и прикладных научных исследованиях, многих отраслях промышленности и социальной сферы, представили своё ви́дение путей преодоления отставания в критически важной для страны области.

Ключевые слова: суперЭВМ, микроэлектроника, элементная база, программное обеспечение, компьютерное моделирование, суперкомпьютеры петафлопсной и экзафлопсной производительности.

DOI: 10.31857/S0869587321120100

Заседание президиума РАН, на котором обсуждалась проблема высокопроизводительных вычислений, было приурочено к 110-летию со дня рождения выдающегося учёного, президента АН СССР с 1961 по 1975 г., основателя и первого директора Института прикладной математики АН СССР Мстислава Всеволодовича Келдыша.

Открывая обсуждение, президент РАН **А.М. Сергеев** отметил несколько важных моментов. За годы научной деятельности академика М.В. Келдыша произошли качественные изменения инструментария научного познания. Численный эксперимент, до конца 1970-х годов лишь дополнявший эксперимент лабораторный, в последние десятилетия становится во многих областях знания ведущим, численное моделирование теперь очень часто предшествует лабораторному опыту. И эти кардинальные изменения произошли на глазах всего одного поколения учёных. Келдыш был тем человеком, который не только жил в эпоху быстрых перемен – он очень много сделал для того, чтобы эти перемены произошли. Мы живём в цифровую эпоху, и она наглядно демонстрирует, что компьютеров слишком высокой производительности не бывает. Чем она выше, тем успешнее мы познаём мир, тем быстрее научные результаты материализуются в экономике.

После научного сообщения академика РАН **Б.Н. Четверушкина** и его ответов на вопросы аудитории (о них позднее) слово было предоставлено директору Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН члену-корреспонденту РАН **А.И. Аптекареву**. Он рассказал об основных вехах биографии М.В. Келдыша, его роли в атомном и космическом проектах, в становлении отечественной вычислительной математики и техники.

В 1946 г. Келдыш, работавший тогда в ЦАГИ и по совместительству в Математическом институте им. В.А. Стеклова АН СССР, возглавил группу учёных, взявшую на себя все математические расчёты по атомной тематике. В 1950–1954 гг. при решении вопроса, какая конструкция термоядерного заряда – "слойка " или "труба" – более перспективна, именно группа Келдыша показала, что режим детонации в "трубе" находится на гра-

нице существования с возможностью его затухания. По записке Ю.Б. Харитона и Я.Б. Зельдовича для повышения эффективности расчётов было принято решение перейти от ручных клавишных машин “Мерседес” к машинам электрическим. За это отвечала группа Келдыша, а затем коллектив Института прикладной математики АН СССР, организованного по инициативе Мстислава Всеволодовича. Объединёнными усилиями трёх организаций профильного министерства была разработана ЭВМ “Стрела”. Одновременно Институтом точной механики и вычислительной техники АН СССР в 1952 г. была создана первая в стране Быстродействующая электронно-счётная машина (БЭСМ), ставшая родоначальницей целого семейства вычислительных машин.

Показательна записка, датированная 1966 г. и направленная М.В. Келдышем председателю Совета министров СССР А.И. Косыгину. К ней прилагалась справка о развитии электронной вычислительной техники в нашей стране и за рубежом. Из справки следовало, что Советский Союз отставал в техническом уровне и количестве ЭВМ, что сдерживало широкое использование вычислительной техники в народном хозяйстве. “Учитывая важность вопроса, Академия наук считала бы целесообразным заслушать на Совете министров СССР доклад министра о мерах по ускорению развития этой области”, отмечалось в записке. Её автор предлагал кардинально увеличить количество уже имеющихся хорошо зарекомендовавших себя машин типа БЭСМ-6, одновременно совершенствуя их, а также создать новый комплекс высоконадёжных ЭВМ на интегральных схемах с широким диапазоном быстродействия, совместимых по программированию, оснащённых современными внешними устройствами, а также развитой системой обеспечения. Далее следовали и другие важные предложения. По материалам записки были приняты соответствующие меры.

Эти факты биографии Мстислава Всеволодовича Келдыша, подчеркнул в заключение своего выступления А.И. Аптекарев, свидетельствуют о том, что “как бы ни казалось драматическим отставание, в нашей стране это часто бывает, нельзя оставлять усилий, чтобы переломить ситуацию”.

Возвращаясь к нынешним реалиям, охарактеризованным в научном сообщении академика Б.Н. Четверушкина, необходимо отметить, что приведённые им тревожные факты вызвали неподдельный интерес членов президиума РАН, о чём можно судить по заданным докладчику вопросам. Сколько суперкомпьютеров и какой производительности необходимо иметь нашей стране? Какова предположительная стоимость гипотетического их парка? Машины петафлопсного класса предполагается приобретать за границей или создавать самим? Сколько времени на такую разработку потребуется и осуществима ли она в нынешних условиях? Отвечая на эти вопросы, научный руководитель ИПМ им. М.В. Келдыша РАН высказал мнение, что в настоящее время страна остро нуждается в линейке суперкомпьютеров, состоящей из 5–10 машин производительностью 30 петафлопс. Цена вопроса – примерно 100 млрд рублей, если соотнести стоимость такой линейки с аналогичной в Германии. Суперкомпьютерные центры необходимо рассредоточить по территории страны. При появлении в европейской части России, в Сибири и на Дальнем Востоке десятка машин петафлопсного класса потребуется координационный совет для обмена опытом, решения возникающих общих проблем, в том числе оперативного использования свободных мощностей. При переходе к машинам экзафлопсного класса неизбежно столкновение с проблемой отказоустойчивости этой сложнейшей техники, её также придётся решать. Но одна машина, как считает учёный, должна служить своего рода экспериментальным реактором, на котором будет вестись поиск новых решений и этот поиск Академия наук должна взять на себя.

На первом этапе, пока в нашей стране не налажено производство передовой элементной базы, придётся, по мнению академика Четверушкина, закупать импортную и на её основе наращивать вычислительные мощности для решения текущих задач, а их много и в промышленности, и в социальной сфере, и в различных областях фундаментальных и прикладных научных исследований. Другого пути нет, потому что, хотя государство недавно и решилось вложить многомиллиардные средства в развитие отечественной микроэлектроники, для постройки заводов, сегодня отсутствующих в России, выхода отрасли на мировой уровень потребуются годы и годы. К тому же создание собственной элементной базы должно в значительной мере опираться на использование методов математического моделирования. Без большого объёма вычислений, то есть без использования суперкомпьютеров, такое моделирование нереализуемо.

Почему же представители властных структур, принимающие решения о выделении государственных средств на те или иные нужды, со скепсисом относятся к предложениям научного сообщества, полагая, что учёным новая техника нужна лишь для удовлетворения свойственного им природного любопытства, что в стране нет пока задач, требующих вычислительных мощностей высочайшей производительности? По словам Б.Н. Четверушкина, это заблуждение объясняется некомпетентностью, непониманием, а в результате игнорированием мировых тенденций. И такая некомпетентность дорого обходится стране. К примеру, авиационные конструкторы

сегодня не могут просчитать с достоверностью отказоустойчивость критически важных узлов проектируемого самолёта, условно говоря, взлетит он или нет, а если взлетит, то насколько велика вероятность аварии при отказе одного из узлов. Так что если рассматривать проблему высокопроизводительных вычислений шире, то речь идёт о безопасности нашей страны, о безопасности её граждан.

После ответов академика Б.Н. Четверушкина на вопросы аудитории и выступления члена-корреспондента РАН А.И. Аптекарева слово для первого из содокладов было предоставлено директору Института системного программирования им. В.П. Иванникова РАН академику РАН **А.И. Аветисяну**. Он поддержал предложения, содержащиеся в докладе академика Б.Н. Четверушкина. Хотя ИСП РАН специализируется на разработках в области операционных систем, компиляторных технологий, параллельных и распределённых вычислений, анализе и обработке больших объёмов данных, семантическом поиске, а математическим моделированием занимается в минимальной степени, его сотрудники, по словам Аветисяна, заинтересованы в повышении производительности вычислительных машин. Без установок, обладающих соответствующими мощностями, сегодня невозможно разрабатывать и развивать как системное программное обеспечение, так и пакеты масштабируемых и надёжных прикладных программ. В качестве доказательства оратор привёл пример из области медицинских исследований, которые ИСП РАН ведёт совместно с Первым Московским государственным медицинским университетом им. И.М. Сеченова. Объём данных ста миллионов исследований электрокардиограммы составляет примерно 20 терабайт (1 терабайт – 10^{12} байт), рентгенограммы – около 1.5 петабайт (1 петабайт – 10^{15} байт), магнитно-резонансной томографии – примерно 20 петабайт. При этом имеется в виду, что для корректного анализа только одной патологии необходимо иметь более 1 млн результатов медицинских исследований. Полученные данные нуждаются в хранении и обработке с применением инструментов искусственного интеллекта. При решении таких трудоёмких задач не обойтись без суперкомпьютера петафлопсной производительности, как не обойтись без машины подобного класса при разработке языковых моделей, анализе текстов с использованием искусственного интеллекта. Обучение нейронной сети требует вычислительных систем мощностью от 5 до 50 петафлопс. Нельзя забывать и о важности программного обеспечения, коммуникационной среды с максимальной степенью защиты данных. По мнению А.И. Аветисяна, импортозамещение в этой области, сопровождающееся переходом на отечественное системное программное обеспечение, возможно и необходимо. Возглавляемый им институт участвует в этих работах.

Проблема снижения размерности сеточных аппроксимаций[1] – такова тема содоклада, который представили научный руководитель ФНЦ НИИ системных исследований РАН академик РАН **В.Б. Бетелин** и директор Сургутского филиала того же института доктор физико-математических наук **В.А. Галкин**. Продолжая тему, затронутую А.И. Аптекаревым, В.Б. Бетелин в самом начале своего выступления акцентировал внимание на том, что М.В. Келдыш постоянно занимался решением именно практических задач, его научные работы, в том числе и по высокопроизводительным вычислениям, связаны с их реализацией. Поэтому, по мнению академика Бетелина, так важно участие в подобных обсуждениях представителей промышленности.

Переходя к заявленной теме, Владимир Борисович отметил, что технологии моделирования сложных физических процессов в значительной мере основываются на использовании не только суперЭВМ высокой производительности, но и, огрублённо говоря, сеточных аппроксимаций большой размерности. Например, гидродинамическое моделирование месторождения с 1000 скважин требует сетки, содержащей порядка 1.5 млрд ячеек, и суперЭВМ производительностью более 0.5 Пфлопс. Прогресс в этих технологиях в значительной степени определяется увеличением размерности сеточных аппроксимаций и, как следствие, ростом требований к производительности и стоимости суперЭВМ.

Производительность таких машин в настоящее время напрямую зависит от технологического уровня производства их основных микроэлектронных компонентов – микропроцессоров, памяти и т.д. По сути дела, прогресс в вычислительных технологиях на основе сеточных аппроксимаций большой размерности определяется прогрессом в области микроэлектронных технологий. Отставание в этой области влечёт за собой отставание в технологиях моделирования на упомянутой основе. Отсюда следует, что уменьшение размерности сеточных аппроксимаций обеспечит снижение как требований к технологическому уровню основных микроэлектронных компонентов суперЭВМ, так и к её стоимости. Иными словами, если научиться снижать размерные сетки тем или иным способом, то вполне реально вести расчёты на менее дорогих и менее производительных машинах, чем суперЭВМ нового поколения.

[1] Аппроксимация – метод вычислений, используемый в математике и заключающийся в том, что сложные математические объекты при расчётах и других исследованиях заменяются более простыми, но максимально похожими.

Решением этой проблемы занимается коллектив Сургутского филиала НИИ системных исследований. По словам академика Бетелина, в качестве возможной альтернативы сеточным аппроксимациям большой размерности здесь разрабатываются кинетический метод решения дифференциальных уравнений (он представляет собой оригинальные вариации метода Монте-Карло) и методы “склейки” точных решений на грубых сетках, впервые реализованные при расчётах, связанных с созданием термоядерного оружия в 1950-х годах. Показано, что на данном классе задач применение этих методов позволяет на 1–2 порядка сократить размерность расчётной сетки и требования к производительности суперЭВМ при сохранении точности вычислений.

Научный руководитель Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Н.Е. Жуковского академик РАН **С.Л. Чернышёв,** посвятивший свой содоклад проблемам суперкомпьютерного моделирования в аэрокосмических приложениях, упомянул, что академик М.В. Келдыш полтора десятилетия, с 1931 по 1946 г., работал в ЦАГИ. Память о нём в институте чтят: на одном из зданий есть его барельеф, рабочий кабинет Мстислава Всеволодовича стал мемориальным.

Роль вычислительных технологий в разработке современной аэрокосмической техники постоянно повышается. Надёжные средства численного расчёта позволяют существенно снизить стоимость и продолжительность экспериментальных работ, в частности при проведении сертификационных испытаний, а также дополнить экспериментальные результаты более глубоким анализом физических процессов, включая протекающие в реактивных двигательных установках и при взаимодействии обтекаемого тела с потоком газа.

За последние 10 лет в развитии вычислительных методов происходит переход от использования отдельных оптимальных решений по дисциплинам (таким как аэродинамика, прочность, аэроакустика и др.) к оптимальным междисциплинарным решениям. Идёт постоянное усложнение применяемых моделей течений – от упрощённых потенциальных или невязких до описываемых полными уравнениями Навье–Стокса. Есть успешные примеры решения полных уравнений Навье–Стокса методом прямого численного моделирования. По мнению академика Чернышёва, эти сложнейшие задачи требуют колоссальных вычислительных ресурсов, которые сегодня в значительной степени ограничены мощностью ЭВМ.

К примеру, новые методы суперкомпьютерного моделирования при проектировании аэродинамической компоновки российского пассажирского самолёта МС-21 позволили достичь высокого аэродинамического совершенства на толстом крыле большого удлинения – достигнут уровень качества K = 18.2, что является главным показателем конкурентоспособности нового отечественного авиалайнера по сравнению с самолётами аналогичного класса компаний Боинг и Аэрбас. Это потребовало многомесячных расчётов для решения прямой и обратной задачи аэродинамического проектирования при ограниченном наборе оптимизируемых параметров на ЭВМ “Ломоносов” Московского государственного университета.

На основе междисциплинарного подхода сегодня возможно надёжное определение аэродинамических характеристик узлов самолёта, включая фюзеляж, механизированное крыло с предкрылком и закрылком, пилоны, мотогондолы, крепления предкрылка и обтекатели механизмов выдвижения закрылков, вихрегенераторы на мотогондолах, а также моделирование струи двигателей. При этом в задаче обтекания решаются уравнения Рейнольдса в частных производных в трёхмерной постановке. Для подобного расчёта аэродинамики самолёта в сложной взлётно-посадочной конфигурации, с учётом работы силовой установки, требуются сетки с количеством ячеек не мене 100–150 млн, время расчёта одной точки может составлять несколько дней. Таков вычислительный уровень, достигнутый на имеющихся в России суперЭВМ, констатировал Сергей Леонидович.

Современные задачи в аэрокосмических приложениях – одни из самых ресурсозависимых. Прогресс в моделировании сложных течений около аэроупругих летательных аппаратов (ЛА) при нестационарном движении с учётом реальных свойств газа, а тем более оптимизация формы ЛА и режимов его полёта, напрямую зависит от мощности используемых суперкомпьютеров. В силу этих причин потребность в наращивании вычислительных мощностей и переход на суперЭВМ мощностью в десятки петафлопс становятся в нашей стране всё острей.

По словам академика Чернышёва, внедрение суперкомпьютерных технологий в авиастроении позволяет перейти на новую систему проектирования и поддержания жизненного цикла летательных аппаратов. Для новой технологии проектирования характерно использование трёхмерного моделирования с имитацией реальных условий эксплуатации без упрощений и допущений, создание дискретных моделей не с десятками миллионов, а с сотнями, вплоть до миллиарда ячеек, решение задач с реальными граничными условиями для реальных условий эксплуатации и, наконец, проведение преимущественно модельных виртуальных, а не физических экспериментов. Научный руководитель ЦАГИ особо отметил не-

обходимость компьютерного моделирования геометрии самолёта с учётом аэродинамики, прочности, аэроупругости, аэроакустики и других характеристик.

Цифровые двойники летательных аппаратов, виртуальные испытания и сертификация – это ближайшее будущее самолётостроения или частично уже настоящее. Внедрение суперкомпьютерных технологий позволяет исключить необходимость доработок узлов самолёта после начала его серийного производства, снизить технические риски, повысить информативность решения инженерных задач, обеспечить возможность создания обширной базы знаний для развития на перспективу.

"Внедрение суперкомпьютерных технологий – важнейшая государственная задача, – подчеркнул, завершая своё выступление, академик С.Л. Чернышёв. – Речь идёт о переходе к новой парадигме, когда вычислительные методы частично должны заменить физический эксперимент. Использование новых методов невозможно без суперкомпьютеров петафлопсного класса".

"Чем объясняется тот факт, что отечественные авиационные конструкторские бюро довольствуются при расчётах ограниченными вычислительными ресурсами, не говорят о том, что им нужны суперпроизводительные компьютеры?" – задал вопрос выступавшему академик РАН А.М. Сергеев.

"Дело в том, что по бедности своей большинство российских КБ используют коммерческие коды[2], – констатировал С.Л. Чернышёв, – а их применение в решении задач не требует очень уж больших вычислительных мощностей – достаточно машин терафлопсного класса. Но в этом случае моделирование страдает приблизительностью, и сравнение результатов такого моделирования с экспериментом крайне необходимо. Если сравнение проигнорировать, последствия могут оказаться печальными. Например, проводя эксперимент в аэродинамической трубе ЦАГИ с некой моделью летательного аппарата, разработанного конструкторами одного из КБ, был зафиксирован глобальный отрыв пограничного слоя на входе в воздухозаборник скоростного летательного аппарата. Конструкторы, не использовавшие мощных вычислителей, не смогли предсказать вероятность такого отрыва, что в будущем чревато катастрофой. Вот почему так важна роль науки. КБ не способны разрабатывать мощные вычислительные методы, это задача академических и отраслевых институтов. Но помимо повышения мощности вычислительных систем, актуальны и другие задачи – создание удобных интерфейсов, эффективное управление сетью суперкомпьютеров, обеспечение надёжной защиты линий связи. Резюмируя, С.Л. Чернышёв выразил пожелание объединять усилия всех организаций, заинтересованных в решении обсуждаемых нами проблем.

Директор Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ им. М.В. Ломоносова член-корреспондент РАН **В.В. Воеводин** начал свой содоклад с констатации грустного факта: российские учёные лишены возможности использовать передовые вычислительные технологии (а это инструмент, без которого не обойтись в современной науке) в той мере, в какой их используют зарубежные коллеги. Но тем, кто работает в МГУ, повезло: ещё в начале двухтысячных годов по инициативе ректора университета академика РАН В.А. Садовничего здесь создан самый мощный в научно-образовательном сообществе России вычислительный комплекс, причём он постоянно развивается, его мощности востребованы всеми факультетами университета, ими пользуются также институты Академии наук, образовательные и другие организации.

Комплекс решает множество разнообразных задач. Владимир Валентинович в качестве примера привёл исследования в области медицины. Суперкомпьютер оказался незаменим на начальной стадии разработки лекарств. Пандемия COVID-19 выявила востребованность скрининга больших баз данных о молекулах в целях поиска веществ, связывающихся с белками-мишенями и блокирующих размножение коронавируса SARS-Cov-2. (Уже появились публикации в научных журналах о суперкомпьютерном скрининге более миллиона различных молекул. Сформированы базы данных, содержащие сведения о миллиарде молекул.) Такие базы требуют больших вычислительных мощностей, а сам процесс формирования баз данных длителен. Так, докинг[3] одной молекулы на одном ядре занимает примерно 10^1–10^2 мин, для скрининга 10^6 молекул требуется примерно 10^4–10^5 ядер.

Московский государственный университет, Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии "Вектор" и Воронежский государственный университет заключили соглашение о совместных научных исследованиях для создания антивирусных препаратов прямого действия на SARS-Cov-2. Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ с использованием кластера "Ломоносов-2" провёл докинг десятков тысяч органических молекул. В результате найдены

[2] Коммерческий код – совокупность условных обозначений: цифровые и буквенные шифры, применяемые в документации и переписке в целях экономии времени, расходов и для удобства обработки средствами компьютерной техники.

[3] Молекулярный докинг – метод молекулярного моделирования, позволяющий предсказать наиболее выгодную для образования устойчивого комплекса ориентацию и конформацию одной молекулы (лиганда) в сайте связывания другой (рецептора).

и подтверждены в экспериментах, проведённых сотрудниками “Вектора”, ингибиторы главной протеазы коронавируса и подавляющие с высокой селективностью репликацию этого вируса в культуре клеток.

Директор Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ привёл и другие примеры использования возможностей суперкомпьютера. В их числе – разработка ультразвукового томографа для диагностики рака молочной железы. Задача эта настолько трудоёмка, что требует петафлопсных компьютерных мощностей. Ещё одна перспективная область применения суперЭВМ – квантовая фотофизика и фотохимия живых систем. Сотрудниками университета разрабатываются новые подходы к управлению процессами поглощения, преобразования и передачи энергии в фотоактивных биосистемах на квантовом уровне с использованием суперкомпьютерного моделирования.

В.В. Воеводин поддержал мнение академика Б.Н. Четверушкина о необходимости повышения мощностей вычислительной техники в России, приведя в пример Японию, где введён в эксплуатацию самый быстрый и мощный в мире суперкомпьютер “Фугаку”. В 2021 г. суперЭВМ мощностью 0.5 экзафлопс будет создана в Финляндии. Востребованность суперкомпьютерных ресурсов в России огромна, отставание в этой области от общемировых тенденций приобрело опасный характер, поэтому в нашей стране в минимальные сроки необходимо создать национальную суперкомпьютерную инфраструктуру.

Автор ещё одного содоклада, директор Института механики и математики им. Н.Н. Красовского УрО РАН член-корреспондент РАН **Н.Ю. Лукоянов** рассказал участникам заседания об Уральском суперкомпьютерном центре коллективного пользования, работающем на базе ИММ УрО РАН. Для обновления вычислителей Центра в 2010 г. Уральским отделением РАН была принята программа по созданию к 2015 г. суперкомпьютера “Уран” петафлопсной производительности. В 2012 г. уральский вычислительный кластер даже попал в рейтинг Топ-500 суперкомпьютеров мира. К сожалению, программа не была завершена. В 2013 г. Академия наук перестала быть распорядителем средств для академических институтов, финансирование программы прекратилось. Правда, в 2016 г. ФАНО выделило на продолжение модернизации кластера определённые средства, а с 2019 г. Центр участвует в программе обновления приборной базы в рамках федерального проекта “Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в Российской Федерации”. Однако получаемые средства уходят в основном на поддержание вычислителя в работоспособном состоянии, о каком-то существенном развитии говорить не приходится, признаёт Николай Юрьевич.

Производительность “Урана” составляет сегодня около четверти петафлопса, это немного даже по российским меркам (18-е место в рейтинге Топ-50 суперкомпьютеров стран СНГ). Тем не менее “Уран” востребован, он загружен круглосуточно, семь дней в неделю. Его постоянными пользователями являются 17 институтов УрО РАН, а также Уральский федеральный и Удмуртский государственный университеты. К кластеру обеспечен доступ через Интернет из любой точки мира, налажена служба технической поддержки пользователей, создана информационно-телекоммуникационная сеть, связывающая научные организации Уральского региона. В основном суперкомпьютер используется для проведения фундаментальных научных исследований и решения прикладных задач гражданской тематики. Н.Ю. Лукоянов привёл несколько примеров.

В ИММ УрО РАН суперкомпьютер применяется для обработки данных дистанционного зондирования земной поверхности; решения задач, связанных с математическим обеспечением систем управления движущимися объектами. Учёные-химики производят расчёты с целью получения новых устойчивых соединений с заданными свойствами. Совместно с физиологами исследуются математические модели сердца. Экологи анализируют ДНК микроорганизмов.

В 2019 г. на Урале был создан Межрегиональный научно-образовательный центр “Передовые производственные технологии и материалы”, планируется запустить ряд новых амбициозных проектов. В их числе оратор назвал разработку новых методов в области искусственного интеллекта, моделирование и виртуальное исследование свойств новых материалов, моделирование ракетно-космического комплекса с многоразовой ракетой-носителем и универсальной космической платформой, разработку прототипа нового малогабаритного турбореактивного двигателя для беспилотных летательных аппаратов, технологий и материалов для создания жидкосолевых реакторов, промышленную реализацию замкнутого ядерного топливного цикла на базе реакторов на быстрых нейтронах, создание новых технологий в реконструктивной хирургии и экспресс-имплантации. Осуществление этих проектов вряд ли возможно без вычислительной поддержки, полагает директор ИММ УрО РАН, отмечая две тенденции. Позитивная: налицо востребованность суперкомпьютеров со стороны академических институтов и университетов, наблюдается оживление интереса промышленности и инновационных компаний к высокопроизводительным вычислениям. Есть кадры, способные развивать и обслуживать суперкомпьютерную технику, нала-

живать её эффективное использование. Негативная: имеющихся вычислительных мощностей явно не хватает, они не соответствуют передовому мировому уровню, к тому же значительная часть вычислителей, особенно региональных, физически и морально устарела. Ограниченность инструментария уже на старте сужает масштабность планируемых задач. Регионы нуждаются в новой программе переоснащения современными суперкомпьютерами мощностью в десятки петафлопс.

Очень важный вопрос, касающийся затрат на эксплуатацию суперЭВМ, источников оплаты машино-времени, задал докладчику академик А.М. Сергеев. Отвечая на него, Н.Ю. Лукоянов отметил, что в рамках государственного задания институты и университеты, подведомственные Минобрнауки, выполняют работы на "Уране" без оплаты использования его мощностей. Если расчёты производятся в рамках хозяйственных договоров или грантов, то есть не по государственному заданию, они оплачиваются заказчиком. "Допустим, государство выделило 10 млрд рублей на приобретение машины мощностью 30 петафлопс. Возможна ли её самоокупаемость?" – в продолжение первого вопроса спросил А.М. Сергеев. "С вычислителями такой мощности в России никто пока не работал, но можно предположить, что машина подобного класса с учётом её высокого энергопотребления, затрат на оплату работы персонала вряд ли окупаема, по крайней мере в первые годы своего функционирования", – заметил Н.Ю. Лукоянов, добавив, что самые мощные супер-ЭВМ рейтинга Топ-500 используются в научных целях для проведения вычислительных экспериментов, то есть для приобретения нового знания, что связано с немалыми затратами. "Но за научные исследования кто-то должен платить, – резонно заметил А.М. Сергеев, – в нашем случае – Министерство науки и высшего образования РФ. Расходы на эксперименты, в которых не обойтись без суперкомпьютеров, необходимо предусмотреть заранее. Вопрос выделения дополнительных средств на поддержание этой дорогостоящей техники нуждается в серьёзном обсуждении с коллегами из Минобрнауки".

"Суперкомпьютерное климатическое моделирование в России" – ещё один содоклад, заслушанный участниками заседания. Его представили ведущий научный сотрудник Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН доктор физико-математических наук **Е.М. Володин**, главные научные сотрудники ИВМ РАН академик РАН **В.П. Дымников** и член-корреспондент РАН **В.Н. Лыкосов**, выступивший на заседании президиума РАН от имени авторского коллектива. Сославшись на климатическую доктрину России, в которой говорится о том, что глобальное изменение климата предполагает необходимость заблаговременного формирования всеобъемлющего и взвешенного подхода государства к проблемам климата и смежным вопросам на основе комплексного научного анализа экологических, экономических и социальных факторов, Василий Николаевич отметил значимость научно обоснованных прогнозов глобальных климатических изменений, подчеркнув, что проблема эта междисциплинарная, а язык обсуждения проблемы – математика. С её позиций климат определяется как статистический ансамбль состояний, принимаемый климатической системой, под которой обычно понимаются взаимодействующие между собой атмосфера, океан, суша, криосфера, биосфера за достаточно большой интервал времени.

Сложность объекта моделирования требует больших вычислительных ресурсов. Более того, в настоящее время происходит переход от климатических моделей, цель которых – воспроизведение и прогноз чисто термогидродинамических характеристик, к моделям Земной системы. Последние расширяют понятие "климатическая система" как за счёт рассмотрения дополнительно геосфер (литосферы, гелиосферы и др.), так и за счёт описания более широкого круга физических, химических, биологических и социальных взаимодействий. Крайне необходима разработка отечественных моделей, которые могут быть использованы для получения независимых оценок ("независимых" здесь ключевое слово) состояния Земной системы как в глобальном, так и в региональном масштабе, ну и, разумеется, для понимания влияния изменений климата на отрасли хозяйства, подверженные влиянию климатических факторов.

Оратор подчеркнул, что климатическая модель, создаваемая в ИВМ РАН, – единственная от России, участвующая в Международном проекте сравнения климатических моделей (CMIP – Coupled Model Intercomparison Project), разрабатываемых в разных странах. Этот проект позволяет приблизиться к наиболее корректному описанию современного климата. Количество численных экспериментов с каждой новой фазой проекта CMIP стремительно растёт, причём в сравнительном анализе участвуют только модели, удовлетворяющие усложняющимся требованиям (в их числе высокое пространственное разрешение, включение описания новых физических, химических и биологических процессов). Характерно, что практически каждый из участвующих в проекте зарубежных коллективов имеет собственный суперкомпьютер, используемый исключительно для моделирования Земной системы. В.Н. Лыкосов отметил, что, несмотря на большие трудности с вычислительными ресурсами в стране, ИВМ РАН продолжает участвовать в проекте CMIP.

Совершенствование суперкомпьютерных систем и технологий ставит проблему разработки моделей с типичным размером конечно-разностной сетки, достаточным для описания мезомасштабных (в диапазоне 2–200 км) негидростатических процессов на земном шаре и пригодных для исследования актуальных, в том числе для России, региональных проблем климатической изменчивости.

За последние 40 лет производительность суперкомпьютеров возросла по порядку величины в 10^9 раз (от 10^6 до 10^{15} оп./сек). Примерно также в 10^9 раз выросли вычислительные затраты на проведение численных экспериментов по моделированию климата и его изменений (вследствие увеличения пространственно-временно́го разрешения и перехода к длительным, на сотни и тысячи лет, интегрированиям). На повестке дня – проведение ансамблевых расчётов (размер выборки порядка 10^2–10^3 экспериментов), что уже сейчас требует использования петафлопсных, а в будущем – экзафлопсных, вычислительных систем.

С содокладом “Метод молекулярной динамики: виртуальный дизайн новых химических соединений и основанных на них материалах” выступил заведующий лабораторией теории и моделирования полимерных систем Института высокомолекулярных соединений РАН член-корреспондент РАН **С.В. Люлин**.

Предваряя основную тему, Сергей Владимирович пояснил для неспециалистов: молекулярная динамика – это метод компьютерного моделирования, основанный на одновременном решении множества уравнений классической физики – уравнений движения Ньютона, каждое из которых может быть написано для отдельного атома исследуемой системы (атомистически-детальные модели, позволяющие точно учитывать движения каждого атома). В среднем около 50% вычислительных ресурсов суперкомпьютера, используемого в научных целях, тратится на моделирование методом молекулярной динамики.

Моделирование с использованием высокопроизводительных систем критически важно для разработки и исследования новых материалов, включая полимерные нанокомпозиты – перспективные инновационные материалы, востребованные в различных областях промышленности. Характерное время структурной организации, например, кристаллизации простых полимеров (типа полиэтилена) лежит в диапазоне от микро- до миллисекунд.

В настоящее время использование суперкомпьютера “Ломоносов-2” (наиболее производительного отечественного суперкомпьютера, доступного для фундаментальных исследований) позволяет в течение одного месяца осуществлять моделирование 1–10 микросекунд процесса формирования реального полимерного нанокомпозита с характерным размером порядка 10 нанометров. Моделирование подобной системы с длительностью процессов, измеряемых миллисекундами, требует от 100 до 1000 месяцев или от 10 до 100 лет. То есть учёный в течение своей жизни может не дождаться результатов. Такая же ситуация в биологических задачах, важных для медицины: фолдинг белка характеризуется длительностью несколько миллисекунд. По словам С.В. Люлина, решение подобных задач на современном уровне становится возможным только при увеличении производительности используемых вычислительных систем не менее чем на порядок.

Далее Сергей Владимирович отметил шаги Министерства науки и высшего образования РФ для поэтапного улучшения ситуации с супервычислениями в стране. В августе 2020 г. была утверждена концепция развития национальной суперкомпьютерной инфраструктуры, она разрабатывалась при активном участии академических учёных. Документ предусматривает запуск к 2023–2024 гг. линейки вычислителей петафлопсного класса (от 10 до 50 петафлопс) и выход в будущем на экзафлопсную мощность. Что касается задачи на сегодня, то академическому сообществу, по мнению С.В. Люлина, на основе утверждённой министерством концепции[4] необходимо сформировать программу строительства суперкомпьютерной инфраструктуры.

Завершающий содоклад “Актуальные задачи развития технологий высокопроизводительных вычислений, включая суперкомпьютерные технологии” представил заместитель директора Российского федерального ядерного центра “Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики” (РФЯЦ-ВНИИЭФ), первый заместитель директора Института теоретической и математической физики РФЯЦ-ВНИИЭФ доктор физико-математических наук **Р.М. Шагалиев**. Он отметил, что в саровском ядерном центре традиционно уделяется большое внимание суперкомпьютерным технологиям, и охарактеризовал два класса решаемых с их помощью задач. Первый – моделирование процессов, протекающих в установках лазерного термоядерного синтеза, в том числе переноса лазерного излучения, генерации в рентгеновское, а затем формирования поля рентгеновского излучения на поверхности термоядерных мишеней и их сжатие. Второй класс задач связан с исследованиями свойств материалов при сверхвысоких сжатиях. Оба класса задач требуют высочайшей точности численных методов. Сложность моделирования состоит в

[4] Член-корреспондент РАН С.В. Люлин с апреля по октябрь 2020 г. занимал должность заместителя министра науки и высшего образования РФ, в настоящее время – заместитель президента РАН.

том, что одновременно надо учитывать процессы, связанные с газодинамикой, переносом энергии фотонами, электронами, ионами, и в то же время с устойчивостью, играющей в моделируемых процессах важнейшую роль, а помимо того большой круг других процессов и явлений. “Мы проводим расчёты на машинах петафлопного класса, тогда как для полномасштабного моделирования требуются вычислители класса экзафлопного, позволяющие достигать детальных сеточных аппроксимаций”, – констатировал Шагалиев.

Второй класс задач носит прикладной характер. На протяжении последнего десятилетия НИИЭФ активно сотрудничает с конструкторскими бюро машиностроения. По словам оратора, “перед нами поставлена задача создания отечественного программного продукта, не уступающего мировым передовым разработкам, поэтапного его внедрения в работу предприятий. Если мы её не решим и сохранится зависимость промышленных предприятий от зарубежных пакетов программ, мы обречены на второстепенную роль, обречены на отставание. Потому что становится очевидным: сложные технические системы – системы авиастроения, ракетостроения, атомной энергетики, невозможно создать без технологий суперкомпьютерного моделирования. По существу речь идёт о создании виртуальных двойников будущего изделия. Эта работа требует привлечения коллег из отраслей промышленности, хорошей экспериментальной базы. Без такой кооперации довести модели до нужного уровня одни мы не сможем”.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ развивается пакет программ “Логос”[5]. Эти работы ведутся в тесном сотрудничестве с институтами РАН, университетами, а также с КБ машиностроения, что позволяет вывести знания, накопленные в научных школах Академии наук, на уровень практического применения промышленностью.

По мнению Р.М. Шагалиева, главное на современном этапе, если речь идёт о суперкомпьютерных технологиях, – определить круг задач, в решение которых должно включиться научное сообщество, исследовательским организациям взять на себя чёткие обязательства, причём с конкретными сроками их выполнения. Тогда шансы на то, что лица, принимающие стратегические решения в нашей стране, прислушаются к мнению учёных, повысятся. Разумеется, надо плотно взаимодействовать с представителями промышленности, привыкшими использовать, что греха таить, устаревшие или устаревающие на глазах программные продукты, вникать в проблемы отраслей. По мнению Шагалиева, “представители промышленности должны стать нашими коллегами по работе”. Что касается самих суперЭВМ, то их сеть на современном этапе надо создавать из компонентов, имеющихся на рынке, одновременно разрабатывая и отечественную элементную базу. Минпромторг РФ принимает для этого меры: создана машина малого класса, в ближайшее время появятся два типа машин среднего класса, важнейшая задача в дальнейшем – выйти на сверхмощные машины из отечественных компонентов.

Взявший затем слово научный руководитель Иркутского научного центра СО РАН академик РАН **И.В. Бычков**, продолжив тему поиска источников финансирования инфраструктуры суперЭВМ, оплаты машинного времени и работы персонала, привёл такой факт. В иркутском Центре коллективного пользования половина машино-часов предоставляется сторонним организациям с учётом возмещения ими расходов на материалы и обслуживание машин. В грантах РФФИ также предусматривалась возможность оплаты научной инфраструктуры. То есть опыт поиска путей хотя бы частичной самоокупаемости эксплуатации этой дорогостоящей техники есть, и его нужно развивать.

Академик-секретарь Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН академик РАН **Г.Я. Красников** поделился имеющейся у него информацией о том, что, по прогнозам, к 2032–2033 гг. за рубежом будет создана машина зета-класса производительностью 10^{21} операций в секунду. Это ещё один аргумент в пользу активизации работ в российской микроэлектронике.

Ректор МГУ имени М.В. Ломоносова академик РАН **В.А. Садовничий** высказал мнение, что научному сообществу необходимо выработать согласованную позицию по важнейшему для страны вопросу – развитию высокопроизводительных вычислений. Решение этой задачи он отнёс к самым значимым из стоящих перед отечественной наукой и, как следствие, перед промышленностью. Он напомнил, что Президент РФ в апреле 2020 г. дал поручение представить предложения, направленные на увеличение мощности ресурсов российских суперкомпьютерных центров, в том числе региональных. В этой связи большой группой учёных была разработана концепция национальной суперкомпьютерной инфраструктуры, поддержанная Минобрнауки России. Выделено 700 задач, для решения которых требуются суперкомпьютерные ресурсы. Чтобы эту программу профинансировать, обязательно

[5] Пакет программ “Логос”, разрабатываемый специалистами входящего в ГК “Росатом” РФЯЦ-ВНИИЭФ, предназначен для промышленного 3D-моделирования. Он позволяет моделировать процессы аэро-, гидро- и газодинамики, турбулентного перемешивания, распространения тепла в твёрдом теле, тепловой конвекции, переноса излучения, течения в пористой среде. Области применения: авиационная промышленность, атомная энергетика, ракетно-космическая отрасль, автомобильная промышленность и др.

нужно войти в национальный проект “Наука” или в проект “Цифровая экономика”, иначе многочисленные предложения, прозвучавшие в ходе заседании президиума РАН, останутся нереализованными.

Виктор Антонович акцентировал внимание и на такой важной задаче, как подготовка кадров. А упомянув о суперкомпьютере “Ломоносов”, создававшемся исключительно за счёт собственных средств университета, подчеркнул, что инфраструктура потребовала не меньших средств, чем сама машина, то есть 6–7 млрд рублей. Вычислитель петафлопсного класса – это своего рода завод, занимающий большие площади (одни только стойки “Ломоносова” занимают 2000 м^2) и нуждающийся в 10–12, а то и более мегаватт электрической мощности. Поэтому необходим план размещения супервычислителей в масштабах страны с учётом возможностей регионов.

Научный руководитель Института автоматики и процессов управления ДВО РАН академик РАН **Ю.Н. Кульчин** напомнил о том, что М.В. Келдыш много сил приложил для создания Дальневосточного отделения АН СССР и его институтов. В настоящее время на Дальнем Востоке действуют два суперкомпьютерных центра, их услугами пользуются около 30 научных институтов, университетов и промышленных организаций. Объём задач требует повышения мощности каждого из центров хотя бы до трёх петафлопс, поэтому Юрий Николаевич высказался в поддержку инициативы по разработке стратегии создания региональной сети суперкомпьютерных центров.

Завершая обсуждение научного сообщения академика РАН Б.Н. Четверушкина, президент РАН А.М. Сергеев ещё раз подчеркнул важность обсуждаемого вопроса с точки зрения научно-технологического развития страны. Оно в значительной мере зависит от того, насколько суперкомпьютеры высокой производительности, то есть сопоставимой с достигнутой в передовых странах, войдут во все области науки и отрасли промышленности.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1125–1136

ТОЧКА ЗРЕНИЯ

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

© 2021 г. Б. Н. Порфирьев[a,*], Д. О. Елисеев[a,b,**], Д. А. Стрелецкий[c,d,***]

[a] Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия
[b] Российский новый университет, Москва, Россия
[c] Университет Джорджа Вашингтона, Вашингтон, Округ Колумбия, США
[d] Институт криосферы земли Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Россия

*E-mail: b_porfiriev@mail.ru
**E-mail: elisd@mail.ru
***E-mail: strelets@gwu.edu

Поступила в редакцию 17.05.2021 г.
После доработки 19.05.2021 г.
Принята к публикации 24.05.2021 г.

В статье рассматриваются методология и результаты экономической оценки и прогноза последствий самого негативного сценария глобальных климатических изменений (RCP 8.5 IPCC) как наиболее репрезентативного для условий российской Арктики в виде протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов для объектов системы здравоохранения в восьми арктических регионах Российской Федерации. Показано, что обусловленные этими последствиями дополнительные расходы на поддержание и восстановление объектов системы здравоохранения в 2021–2050 гг. могут составить около 60 млрд руб., или примерно 2 млрд руб. в год (цены 2021 г.) при средней скорости деградации и глубине протаивания многолетнемёрзлых грунтов, и вырасти до 219 млрд руб. (7.5 млрд руб. ежегодно) при максимальном ожидаемом ущербе.

Ключевые слова: российская Арктика, регионы, изменение климата, многолетнемёрзлые грунты, протаивание, деградация, объекты системы здравоохранения, риски.

DOI: 10.31857/S0869587321120112

Данная статья продолжает серию публикаций авторов по экономической оценке и прогнозу последствий глобальных климатических изменений в виде протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов для устойчивого функционирования секторов и сфер хозяйства российской Арктики [1–3], критически важных для жизнедеятельности этого макрорегиона и, учитывая его стратегическое значение, – для обеспечения национальной безопасности страны [4, 5]. Такие оценки и прогнозы становятся необходимым условием адаптации населения и экономики к

ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич – академик РАН, научный руководитель ИНП РАН. ЕЛИСЕЕВ Дмитрий Олегович – кандидат экономических наук, начальник НИЦ РосНОУ. СТРЕЛЕЦКИЙ Дмитрий Андреевич – PhD, профессор географического факультета Университета Джорджа Вашингтона (США), старший научный сотрудник Института криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН.

климатическим изменениям [6, 7], равная значимость которой с мерами по снижению климатических рисков социально-экономического развития подчёркнута в Парижском соглашении по климату, а особая роль России в поисках эффективного ответа на новые климатические вызовы – в послании Президента страны к Федеральному собранию Российской Федерации в апреле 2021 г. [8].

В работе [9] отмечается, что к 2050 г. деградация многолетней мерзлоты окажет негативное влияние на проживание 3.6 млн человек Арктического макрорегиона России. Согласно результатам недавних исследований наших коллег [10, 11], ожидаемый к середине столетия ущерб от деградации многолетнемёрзлых грунтов для муниципалитетов Арктической зоны Российской Федерации может составить 5–7 трлн руб. и более. При всей важности указанных цифр, отражающих масштабы социально-экономических рисков происходящих процессов, актуальными представляются расчёты и оценки ожидаемого ущерба по ключевым секторам и сферам экономики рассматриваемого макрорегиона, что важно для разработки и обоснования мер снижения возможных рисков. В работах авторов [2, 3] расчёты и оценки были сделаны для транспортной инфраструктуры и жилищного сектора (по восстановительной стоимости) на основе сценарного моделирования. В соответствии с полученными данными, совокупные дополнительные затраты на смягчение ущерба могут составить за 2020–2050 гг. от 1.4 до 4.4 трлн руб., или от 48 до 145 млрд руб. в среднегодовом выражении. Это эквивалентно 0.4–1.2% от суммарного валового регионального продукта (ВРП) 2018 г. восьми субъектов Российской Федерации, в которых многолетняя мерзлота занимает значительную часть хозяйственно освоенного пространства: республик Коми и Саха (Якутия), Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского и Чукотского автономных округов, Красноярского края и Магаданской области.

В статье предпринята попытка оценить ожидаемый ущерб ещё для одного критически важного сектора экономики российской Арктики – здравоохранения, точнее, для объектов его инфраструктуры, роль которых для устойчивого развития и национальной безопасности страны возросла в связи с последствиями пандемии коронавируса 2020–2021 гг., а также негативными демографическими тенденциями, в том числе в Арктическом макрорегионе [12–18]. При этом в контексте анализа рисков, обусловленных протаиванием и деградацией многолетнемёрзлых грунтов, значение имеют расчёты не только прямого ущерба для устойчивости указанных объектов, но и – вероятно, ещё в большей степени – косвенного ущерба от опасных явлений. Он выражается в сокращении доступности медицинских услуг для населения Арктики, увеличении сроков ожидания приёма и транспортировки пациентов до больниц и медицинских центров (плановые и экстренные госпитализации), а также в росте нагрузки на лечебные учреждения из-за внеплановых ремонтов зданий и инфраструктуры, деформаций и разрушений вследствие протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов. Косвенный ущерб может в разы превосходить прямой урон и затраты на восстановление объектов. Тем не менее в фокусе настоящей работы – оценка прямого ущерба, который может быть чётко определён и рассчитан в денежном эквиваленте.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ МАКРОРЕГИОНЕ

Государственная система здравоохранения анализируемых территорий включает лечебные стационары (больницы), амбулаторно-поликлиническую сеть (поликлиники, фельдшерско-акушерские пункты) и службы неотложной медицинской помощи (станции скорой помощи, медицинскую авиацию). В ходе реформ последних 10–15 лет, направленных на так называемую оптимизацию сети медучреждений и численности медицинского персонала, количество больниц в восьми арктических субъектах Российской Федерации за 2005–2018 гг. сократилось на 57%, амбулаторно-поликлиническая сеть – на 25%, что значительно выше общероссийских показателей, составивших 44% и 7% соответственно (табл. 1).

Справедливости ради нужно отметить, что не все преобразования привели к фактической ликвидации учреждений, поскольку многие реформы зачастую предполагали юридическую реорганизацию (создание филиалов, изменение статуса и др.). Об этом, в частности, свидетельствуют данные по количеству посещений медицинских учреждений за смену, которая за рассматриваемый период изменилась незначительно (см. табл. 1). Расчёты, представленные далее, показывают, что многие больницы, поликлиники, фельдшерско-акушерские пункты, станции скорой помощи и иные медицинские учреждения были включены в состав более крупных центров, что в статистическом учёте отразилось как сокращение количества объектов. Кроме того, практически в каждом населённом пункте исследуемых регионов имеется учреждение, оказывающее медицинскую помощь: в поселениях от 300 до 800 жителей – фельдшерско-акушерский пункт, который, как правило, входит в состав центральных районных больниц муниципального образования; в более крупных населённых пунктах (800–3000 жителей) – поликлиники или, в отдельных случаях,

Таблица 1. Функционирование медицинских учреждений в России и регионах российской Арктики

Регионы	Медицинские учреждения и их показатели	2005 г.	2010 г.	2018 г.
Российская Федерация	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	9479	6308	5257
	Количество посещений за смену, тыс.	1575.4	1339.5	1172.8
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	21783	15732	20228
	Количество посещений за смену, тыс.	3637.9	3685.1	3997.8
Республика Коми	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	98	60	50
	Количество посещений за смену, тыс.	11.1	10.0	8.3
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	229	123	212
	Количество посещений за смену, тыс.	33.1	33.1	33.9
Ненецкий АО	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	9	9	2
	Количество посещений за смену, тыс.	0.5	0.5	0.4
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	17	22	9
	Количество посещений за смену, тыс.	0.9	1.1	1.2
Ханты-Мансийский АО	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	92	90	56
	Количество посещений за смену, тыс.	14.7	12.9	12.5
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	223	181	186
	Количество посещений за смену, тыс.	39.3	39.0	40.1
Ямало-Ненецкий АО	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	47	28	22
	Количество посещений за смену, тыс.	6.0	5.2	4.2
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	102	40	86
	Количество посещений за смену, тыс.	12.6	10.8	13.3
Красноярский край	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	249	146	123
	Количество посещений за смену, тыс.	32.6	28.9	23.3
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	589	483	573
	Количество посещений за смену, тыс.	88.8	85.3	93.2

Таблица 1. Окончание

Регионы	Медицинские учреждения и их показатели	2005 г.	2010 г.	2018 г.
Республика Саха (Якутия)	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	287	65	62
	Количество посещений за смену, тыс.	14.6	11.0	9.4
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	362	96	107
	Количество посещений за смену, тыс.	26.0	25.9	28.5
Магаданская область	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	29	21	19
	Количество посещений за смену, тыс.	3.0	2.3	1.7
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	60	43	45
	Количество посещений за смену, тыс.	6.6	6.1	6.2
Чукотский АО	Больницы			
	Количество учреждений (единиц)	32	1	3
	Количество посещений за смену, тыс.	1.3	0.9	0.7
	Амбулаторная сеть			
	Количество учреждений (единиц)	40	34	27
	Количество посещений за смену, тыс.	3.0	2.5	2.3

Источник: составлено авторами по данным Росстата [19].

участковые больницы. Однако это не исключает преодоления больших трудностей с получением своевременной и качественной медицинской помощи, возникающей у жителей отдалённых и труднодоступных районов, из-за ликвидации там медицинских учреждений [20, 21].

Ещё одна важная характеристика экономической ситуации в сфере здравоохранения арктических субъектов – организация и объёмы финансирования медицинских учреждений. Система их финансирования двухканальная. Сегодня примерно половина средств выделяется региональными бюджетами, оставшиеся ресурсы перечисляются в рамках обязательного медицинского страхования (ОМС) по линии территориальных фондов ОМС, тогда как в 2005 г. основная часть (около 90%) расходов финансировалась за счёт региональных бюджетов [19].

Анализ динамики финансирования учреждений системы здравоохранения свидетельствует о его снижении в реальном выражении: если в 2005–2013 гг. темпы роста расходной части практически вдвое превышали темпы роста инфляции, то в 2013–2018 гг. этот показатель существенно снизился (табл. 2).Тем самым подтверждается тезис, что начатые в 2010–2013 гг. реформы системы здравоохранения были направлены в том числе на сокращение темпов роста финансирования отрасли. Учитывая, что в структуре расходов на здравоохранение часть затрат направлена на заработную плату медицинского персонала, регулярно индексируемую на уровень инфляции, в долгосрочной перспективе сохранение отмеченной тенденции означало бы относительное увеличение доли заработной платы при одновременном сокращении доли инвестиций в инфраструктуру, и, соответственно, ограничение дополнительных расходов на поддержание и восстановление объектов системы здравоохранения, пострадавших от последствий протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов.

Таблица 2. Динамика финансирования медицинских учреждений в регионах российской Арктики в 2005–2018 гг., млн руб.

Регионы	2005 г.	2013 г.	2018 г.
Республика Коми	6701.3	24179.8	24528.9
Ненецкий АО	809.2	2694.1	3298.8
Ханты-Мансийский АО	2644.5	76586.6	80819.9
Ямало-Ненецкий АО	8353.4	29284.3	36630.1
Красноярский край	17157.9	64037.0	68050.3
Республика Саха (Якутия)	10425.3	35423.8	43646.0
Магаданская область	2001.7	9719.8	10655.4
Чукотский АО	1964.1	4371.8	4769.5
Среднее значение по всем регионам	9482.863	31038.76	34302.1
Накопленная инфляция в 2005–2013 гг. – 98.38%			
Накопленная инфляция в 2013–2018 гг. – 42.36%			

Источник: оценки авторов по данным Росстата [19].

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Методологический подход к оценке прямого ущерба объектам системы здравоохранения от протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов во многом аналогичен ранее апробированной методологии оценки рисков для жилого сектора [3]. Для экономико-климатической модели прогноза ожидаемого ущерба объектам системы здравоохранения используются та же геотехническая модель оценки состояния и устойчивости многолетнемёрзлых грунтов на долгосрочный период, количественные показатели объектов, построенных на этих грунтах, и фактическая себестоимость строительства новых объектов системы здравоохранения. Вместе с тем адаптация упомянутой методологии потребовала существенных модификаций.

Во-первых, в расчётах использовался пообъектный подход по причине того, что в государственном статистическом учёте отсутствуют данные об общей площади объектов системы здравоохранения. Во-вторых, для оценки стоимости использовалась методика нормативных расчётов по строительству объектов здравоохранения, поскольку в распоряжении авторов сведения об их фактической стоимости отсутствовали, как отсутствовала и возможность использовать общероссийские данные по основным фондам системы, оценка которых проводилась в 2010 г. В работах [1–3] для оценки стоимости объектов дорожной инфраструктуры и жилого сектора мы рассматривали данные по стоимости основных фондов в региональном разрезе, но для объектов системы здравоохранения их не было.

На первом этапе следовало определить общее количество объектов (учреждений) здравоохранения, которые построены на многолетнемёрзлых грунтах. Для этого использовались фактические данные о количестве медицинских учреждений, расположенных в зоне многолетней мерзлоты с детализацией до муниципального уровня. Из-за отсутствия фактических сведений о количестве объектов, построенных непосредственно на многолетнемёрзлых грунтах, привлекалась ранее апробированная методология количественной синтетической оценки, основанная на данных Международной ассоциации мерзлотоведения (МАМ)[1]. Принимается, что в зоне сплошной многолетней мерзлоты доля объектов здравоохранения, построенного на многолетнемёрзлых грунтах, составляет 90%; аналогичный

[1] Согласно методологии Международной ассоциации мерзлотоведения, по площади распространения выделяются следующие типы многолетней мерзлоты: сплошная (90–100% охвата территории), прерывистая (50–90%), массивно-островная (10–50%), спорадическая или островная (менее 10%); по льдистости пород – высокая, средняя и низкая. Так, в Мурманской области, на среднем Урале (Пермский край, Свердловская область), в Южной части Сибири (Иркутская область, Алтайский край, Республика Тыва, Кемеровская область) и Дальнего Востока (Амурская область, Сахалин) многолетняя мерзлота, как правило, расположена либо в горных труднодоступных районах, либо представлена очаговыми проявлениями, не представляя значимого риска для хозяйственной деятельности.

Таблица 3. Укрупнённые нормативы цен строительства объектов здравоохранения

Объект здравоохранения, мощность	Цена, тыс. руб.
Больница на 36 койко-мест	6562.72
Больница на 100 койко-мест	24024.36
Больница на 200 койко-мест	3679.18
Больница на 250 койко-мест	3455.95
Детские больницы на 100 койко-мест	5733.22
Детские больницы на 200 койко-мест	3010.21
Детские больницы на 250 койко-мест	2511.27
Поликлиники на 50 посещений в смену	2068.09
Поликлиники на 200 посещений в смену	1510.21
Поликлиники на 600 посещений в смену	1191.52
Детские поликлиники на 150 посещений в смену	896.39
Детские поликлиники на 200 посещений в смену	735.52
Перинатальные центры на 130 койко-мест	16080.60
Перинатальные центры на 150 койко-мест	14 401.58
Фельдшерско-акушерские пункты на 15 посещений в смену	2199.40
Фельдшерско-акушерские пункты на 24 посещения в смену	1244.91

Источник: составлено авторами по данным приказа Минстроя России от 11.03.2021 г. № 131/пр [22].

показатель в зонах прерывистой, массивно-островной и спорадической (островной) многолетней мерзлоты составляет 50, 10 и 0% соответственно. В общем виде формула расчёта для конкретного региона выглядит следующим образом:

$$N_i = 0.9N_{pi} + 0.5N_{pi} + 0.1N_{fi}, \quad (1)$$

где N_i – общее количество объектов системы здравоохранения, построенных на многолетнемёрзлых грунтах в i-м регионе; N_{pi} – количество объектов системы здравоохранения, построенных в зоне сплошной мерзлоты в i-м регионе; N_{pi} – количество объектов системы здравоохранения, построенных в зоне прерывистой мерзлоты в i-м регионе; $З_{fi}$ – количество объектов системы здравоохранения, построенных в зоне массивно-островной мерзлоты в i-м регионе.

Для стоимостной оценки объектов системы здравоохранения в исследуемых регионах использовались данные из укрупнённых нормативов цен строительства, утверждённых приказом Минстроя России в 2019 г. (табл. 3).

Стоимость конкретных объектов здравоохранения рассчитывается на основе фактических характеристик их мощности с привлечением региональных и муниципальных статистических данных Росстата, сведений с сайтов медицинских учреждений и с использованием поправочных коэффициентов, учитывающих климатические и физико-географические параметры. Общая формула расчётов (2) выглядит следующим образом:

$$V_j = V_{nj} * C_j * K_r * K_c * K_s * K_s, \quad (2)$$

где V_j – стоимость j-го объекта здравоохранения; V_{nj} – нормативная стоимость j-го объекта здравоохранения с учётом функциональных особенностей (см. табл. 3); C_j – фактическая мощность j-го объекта здравоохранения; K_r – региональный коэффициент изменения стоимости строительства; K_c – коэффициент изменения стоимости строительства с учётом климатического фактора; K_s – коэффициент изменения стоимости строительства в сейсмически опасных районах; K_s – коэффициент удорожания стоимости строительства объектов в условиях стеснённой (уплотнённой) городской застройки.

При отличии фактической мощности j-го объекта здравоохранения C_j от нормативных значений, указанных в таблице 3, показатель V_{nj} в формуле (2) заменяется показателем V_{fj}, который рассчитывается методом интерполяции.

На заключительном этапе проводится расчёт ожидаемого ущерба объектам системы здравоохранения от протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов на период до 2050 г. с использованием самого неблагоприятного сценария климатических изменений (RCP 8.5)[2], который представляется наиболее релевантным для условий Арктики, где скорость и интенсивность деградации многолетней мерзлоты максимальны в глобальном измерении. Оценка несущей способности грунтов, глубины протаивания и осадки грунтов проводилась на основе ранее апробированных геотехнических моделей [1, 23–25] и включала три сценария протаивания с соответствующим снижением несущей способности грунтов: минимальный, средний и максимальный.

В расчётах принят ряд допущений. Во-первых, в настоящей работе авторы отказались от сценарной экономической оценки ущерба, не располагая данными о долгосрочных государственных программах и планах строительства (реконструкции) объектов здравоохранения в исследуемых регионах. Во-вторых, не рассчитывался ожидаемый ущерб для конкретных объектов здравоохранения (например, станций скорой помощи, диагностических лабораторий) из-за отсутствия у авторов данных по количеству выездов, посещений этих учреждений пациентами, необходимых для расчёта ценовых параметров. В-третьих, предлагаемая модель оценки статична и не учитывает параметры инфляции, роста ВРП из-за отсутствия у авторов надёжных источников долгосрочного прогноза указанных параметров на региональном уровне. В-четвёртых, по причине существенной неопределённости климатических процессов затруднены оценки реальной скорости и масштабов деградации многолетнемёрзлых грунтов. Поэтому принято предположение о постепенном и равномерном росте температуры приземного воздуха и деградации этих грунтов в 2021–2050 гг. и, соответственно, равномерном распределении по времени величины ожидаемого экономического ущерба.

[2] Обоснован Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC). Этот сценарий, в частности, применялся при подготовке V Оценочного доклада по изменениям климата (CMIP-5) на период до середины XXI в. Расчёт на основе шести глобальных моделей изменения климата: CanESM2, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, IPSLCM5A-LR и NorESM1-M.

ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

В соответствии с предложенной методологией рассчитаны количество объектов здравоохранения, построенных в исследуемых регионах на многолетнемёрзлых грунтах, и их стоимость. По состоянию на 2020 г. общая сеть объектов здравоохранения включала 173 больницы, 1200 поликлиник и 636 фельдшерско-акушерских пунктов (табл. 4).

Данные, представленные в таблице 4, отличаются от официальной статистической информации[3], что обусловлено, во-первых, тем, что в структуре больничного фонда регионов более 2/3 приходится на филиальную сеть, которая в статистическом учёте отражается как одно целое; во-вторых, в статистике амбулаторно-поликлиническая сеть учитывает только самостоятельные медицинские учреждения, без поликлиник, входящих в состав более крупных медицинских центров. Отмеченное расхождение не вносит каких-либо противоречий, поскольку для настоящего исследования необходимы именно фактические данные по объектам системы здравоохранения.

Общая стоимость объектов здравоохранения восьми регионов российской Арктики, построенных на многолетнемёрзлых грунтах, по восстановительной стоимости составляла 243.806 млрд руб. При этом территориально стоимость каждого объекта варьируется в зависимости от его мощности и стоимости строительных работ в каждом регионе. Дороже строительство в Республике Саха (Якутия) и Магаданской области, где средняя стоимость сооружения одной больницы составляет 1.037 млрд руб. и 738.65 млн руб. соответственно, учреждения амбулаторно-поликлинической сети – 134.8 млн руб. и 204.9 млн руб. соответственно.

Далее оценим влияние протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов на устойчивость построенных на них объектов здравоохранения и приведём прогнозные расчёты затрат на устранение (смягчение) ожидаемого ущерба до 2050 г. Итоги расчётов представлены в таблице 5.

Согласно полученной оценке, при базовом сценарии – средней глубине протаивания, осадки грунта и снижения несущей способности многолетнемёрзлых грунтов – ожидаемый экономический ущерб для построенных на них объектов системы здравоохранения и необходимые для минимизации этого ущерба затраты на восстановление и поддержание их устойчивости могут составить около 64.5 млрд руб. за 2020–2050 гг.,

[3] Для республики Коми, Красноярского края, Ханты-Мансийского АО данные рассчитаны только по муниципалитетам, расположенным в зоне многолетнемёрзлых грунтов.

Таблица 4. Объекты системы здравоохранения, построенные на многолетнемёрзлых грунтах

Регионы	Стационары		Учреждения амбулаторно-поликлинической сети	
	Количество объектов	Стоимость объектов, млн руб.	Количество объектов	Стоимость объектов, млн руб.
Республика Коми*	9	1733	144	4465
Ненецкий АО	6	2027	44	2527
Ханты-Мансийский АО**	27	1825	161	2731
Ямало-Ненецкий АО	20	8856	233	17553
Красноярский край***	36	7136	478	16662
Республика Саха (Якутия)	68	51860	616	83046
Магаданская область	22	8125	90	18445
Чукотский АО	14	6757	72	10056
Итого	173	88320	1838	155486

Источник: расчёты авторов с использованием данных Росстата, базы данных "Муниципальные образования", сайтов региональных подразделений здравоохранения, территориальных фондов медицинского страхования, учреждений здравоохранения.

* Данные рассчитаны по 7 муниципальным образованиям.

** Данные рассчитаны по 12 муниципальным образованиям.

*** Данные рассчитаны по 16 муниципальным образованиям.

или 2.2 млрд руб. в среднем в год. При негативном сценарии – наибольшей деградации и максимальной глубине протаивания, осадки грунта и снижения несущей способности многолетнемёрзлых грунтов – общий размер ущерба может возрасти до 234 млрд руб., или 8 млрд руб. ежегодно.

В региональном разрезе при базовом сценарии риски наибольшего ущерба характерны для Ямало-Ненецкого АО – 26.36 млрд руб. за 2021–2050 гг., или 0.9 млрд руб. в среднегодовом выражении; Красноярского края – 17.71 млрд руб. и 0.61 млрд руб. и Республики Саха (Якутия) – 8.77 млрд руб. и 0.38 млрд руб. соответственно. При негативном сценарии – для Республики Саха (Якутия) (131.8 млрд руб. и 4.54 млрд руб.) и Ямало-Ненецкого АО (26.36 млрд руб. и 0.9 млрд руб. соответственно) (табл. 5).

Учитывая, что указанные величины одновременно суть затраты на снижение указанных рисков, включая комплекс мер по восстановлению и поддержанию устойчивости объектов системы здравоохранения, существенным является их сопоставление с объёмами финансирования системы здравоохранения в рассматриваемых регионах. В ранее опубликованных работах авторов по аналогичной проблематике [1–3] такое сравнение проводилось по отношению к объёму валового регионального продукта (ВРП). Однако больший интерес представляет сопоставление затрат именно с объёмом финансирования соответствующих сектора или отрасли, в данном случае – системы здравоохранения, откуда реально черпаются средства на её функционирование, включая расходы на поддержание устойчивости (ремонт, восстановление и т.п.) основных фондов (см. табл. 5).

Объёмы финансирования системы здравоохранения определяются доходами региональных бюджетов и территориальных фондов медицинского страхования, которые, как было отмечено, за последние годы значительно сократились. Это сужает базу и увеличивает бремя дополнительных расходов на снижение рисков ущерба от протаивания и деградации многолетней мерзлоты. Так, при негативном сценарии опасных природных процессов и снижении несущей способности многолетнемёрзлых грунтов в предстоящее 30-летие отдельным регионам для минимизации рисков, возможно, потребуется увеличить расходы на здравоохранение или перераспределить текущие расходы на 5–10% от общего объёма финансирования.

Таблица 5. Оценка экономического ущерба и затрат на восстановление и поддержание устойчивости объектов системы здравоохранения, построенных на многолетнемёрзлых грунтах и находящихся под риском их протаивания и деградации

Регионы	Здания под риском деградации многолетнемёрзлых грунтов, %*	Финансирование здравоохранения		Экономический ущерб		Затраты на восстановление и поддержание устойчивости объектов под риском, % от ежегодных расходов на здравоохранение
		млрд руб. (2018 г.)	% от ВРП (2018 г.)	млрд руб. за период 2021–2050 гг. (цены 2021 г.)	млрд руб. в среднем в год (цены 2021 г.)	
Республика Коми	100 (100/100)	24.53	3.52	6.2 (6.2/6.2)	0.2137 (0.2137/0.2137)	0.87 (0.87/0.87)
Ненецкий АО	99 (0.3/99.1)	3.30	1.03	4.51 (0.01/4.51)	0.1554 (0.0005/0.1556)	4.71 (0.01/4.72)
Ханты-Мансийский АО	4.1 (0.0/60.9)	80.82	1.79	0.19 (0.00/2.77)	0.0064 (0.0/0.0957)	0.01 (0.00/0.12)
Ямало-Ненецкий АО	99.8 (79.1/99.8)	36.63	1.20	26.36 (20.89/26.36)	0.9088 (0.7203/0.9088)	2.48 (1.97/2.48)
Красноярский край	74.0 (0.1/99.4)	68.05	2.87	17.71 (0.02/23.66)	0.6105 (0.0008/0.8157)	0.90 (0.00/1.20)
Республика Саха (Якутия)	6.5 (0.0/97.7)	43.65	3.87	8.77 (0.00/131.80)	0.3024 (0.0/4.5450)	0.69 (0.00/10.41)
Магаданская область	2.6 (0.0/97.2)	10.66	6.04	0..69 (0.00/25.83)	0.0238 (0.0/0.8906)	0.22 (0.00/8.36)
Чукотский АО	0.6 (0.6/81.1)	4.77	5.72	0.10 (0.10/13.62)	0.0035 (0.0035/0.,4696)	0.07 (0.07/9.85)
Итого	53.8 (29.9/95.2)	272.40	3.25	64.52 (27.23/234.75)	2.2247 (0.9388/8.0947)	0.82 (0.34/2.97)

*Использованы расчёты из источника: *Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I., Porfiriev B.N., Eliseev D.O.* Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // Environ. Res. Lett. 2019. V. 14. № 025003. P. 1–15.

Величины показателей без скобок соответствуют значениям при средней глубине протаивания, осадки грунта и снижения несущей способности многолетнемёрзлых грунтов; величины показателей в скобках – их значения при минимальной (числитель) и максимальной (знаменатель) глубинах протаивания, осадки грунта и снижения несущей способности многолетнемёрзлых грунтов.

Наиболее проблемной остаётся оценка ожидаемого косвенного ущерба объектам системы здравоохранения от последствий деградации многолетнемёрзлых грунтов. К такому ущербу можно отнести затраты, связанные с временным перемещением учреждений здравоохранения из аварийных зданий, временным закрытием отдельных медицинских пунктов, увеличение нагрузки на существующие мощности и сроков оказания медицинской помощи населению по указанным причинам. Из-за значительных расстояний, низкой плотности населения и разреженности сети учреждений медицинского профиля, характерных для российской Арктики, критичной становится транспортная доступность медицинских объектов. Так, связанность поселений Долгано-Ненецкого и Эвенкийского муниципальных образований Красноярского края в основном обеспечивается авиацией. Поэтому временное закрытие любого учреждения здравоохранения на этих территориях потребует дополнительных ресурсов на услуги санитарной авиации.

В работе Н.В. Шартовой, М.Ю. Грищенко, Б.А. Ревича на примере нескольких муниципалитетов Архангельской области проводилась модельная оценка транспортной доступности медицинских учреждений для населения, которая показала, что даже для относительно благополучных и населённых районов этого региона Арктической зоны характерны значительные различия в транспортной доступности и, соответственно, своевременности получения квалифицированной медицинской помощи. Согласно результатам оценки, в зоне риска с точки зрения времени транспортировки до больницы или поликлиники – от часа до полутора часов – находится около 25% населения, при возникновении неблагоприятных погодных условий, например в зимний период, – половина всего населения [26].

Если эту оценку спроецировать на рассматриваемые восемь Арктических субъектов Российской Федерации, то окажется, что при необходимости временного перемещения и закрытия объектов системы здравоохранения в зону риска попадёт подавляющее большинство населения Красноярского края, Республики Саха (Якутия), Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, а также Магаданской области. Причина в том, что в структуре сети учреждений здравоохранения муниципальных образований участковая/муниципальная больница имеется только в административном центре муниципалитета, в основном в регионах преобладают фельдшерско-акушерские пункты и небольшие поликлиники, расстояние между которыми зачастую превышает несколько сотен километров.

* * *

Последствия климатических изменений для природных экосистем, населения и экономики российской Арктики уже давно стали реальностью и превращаются во всё более серьёзные вызовы и риски устойчивому развитию этого макрорегиона. Ускоренные протаивание, деградация и обусловленное ими снижение несущей способности многолетнемёрзлых грунтов, на которых построены и функционируют сотни предприятий и организаций, включая критически важные объекты, – одна из наиболее масштабных угроз региональной и национальной безопасности, особенно в долгосрочной перспективе.

Это полностью относится к объектам системы здравоохранения. И хотя масштабы ожидаемого для них *прямого* экономического ущерба от протаивания и снижения устойчивости многолетнемёрзлых грунтов в связи с климатическими изменениями, а также привлечения дополнительных расходов на смягчение указанного ущерба существенно уступают потерям в других секторах экономики российской Арктики, тем не менее *косвенный* социально-экономический ущерб и затраты на его снижение могут оказаться весьма значительными, многократно превосходящими прямые расходы. При этом дело не столько в объёме денежных затрат, сколько в масштабах социально-экономических издержек, имея в виду специфику сферы здравоохранения, от состояния и эффективности работы которой в огромной мере зависят сбережение народа, жизнь и здоровье населения. Непреходящую значимость этой сферы и её жизненную необходимость подтвердил опыт 2020–2021 гг. по преодолению последствий коронавирусной пандемии, которая прямо или опосредованно стала причиной преждевременной смерти более 500 тыс. человек. Причём в ряде северных регионов страны (Архангельской области, Республике Коми, Красноярском крае) отмечался заметно более высокий уровень смертности в расчёте на 1 млн жителей, чем в среднем по России, что подтверждает особую актуальность проблемы своевременного, качественного и доступного медицинского обслуживания населения удалённых территорий.

Прогнозируемые изменения в этих регионах климатических и связанных с ними других природных условий жизнедеятельности в целом и функционирования объектов системы здравоохранения в частности может стать дополнительным и существенным фактором риска для населения и экономики, осложнить реализацию стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г. [27] и более отдалённую перспективу. Учёт и оценка этого фактора, включая риски ожидаемого экономического и

социального ущерба от деградации многолетней мерзлоты, а также разработка эффективного ответа на указанные вызовы – одна из ключевых задач отечественной науки, которую необходимо решать в тесной кооперации с властями всех уровней.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Климатические и физико-географические расчёты состояния многолетней мерзлоты выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-60252 Арктика “Неучтённые региональные механизмы климатических изменений в Арктике и их влияние на предсказуемость климата и экономические аспекты освоения Арктического пространства России”. Методология оценки ожидаемого ущерба разработана при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-55-71003 Арктика “Быстрые изменения окружающей среды в Арктике: последствия для благополучия населения, устойчивости развития и демографии Арктического региона” (Rapid Arctic environmental Changes: implications for well-being, resilience and Evolution of Arctic communities – RACE). Анализ и оценка экономики здравоохранения и моделирование результатов выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-05-60146 Арктика “Медико-экологические факторы социально-экономического развития российской Арктики: анализ и прогноз”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I. et al.* Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // Environ. Res. Lett. 2019. V. 14. № 025003. P. 1–15.
2. *Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А.* Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата для устойчивости дорожной инфраструктуры в российской Арктике // Вестник РАН. 2019. № 12. С. 1228–1239.
3. *Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А.* Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора российской Арктики // Вестник РАН. 2021. № 2. С. 105–114.
4. *Гудев П.А.* Новые риски и возможности межгосударственного сотрудничества в Арктике // Арктика и Север. 2018. № 36. С. 57–83.
5. *Лексин В.Н.* Социально-экономические проблемы российской Арктики. Между прошлым и будущим // Российский экономический журнал. 2018. № 5. С. 3–25.
6. *Ford J., McDowell G., Pearce T.* The adaptation challenge in the Arctic // Nature Clim. Change. 2015. V. 5. № 12. P. 1046–1053.
7. *Berner J., Brubaker M., Revitch B. et al.* Adaptation in Arctic circumpolar communities: food and water security in a changing climate // International Journal of Circumpolar Health.2016. V. 75. № 1. https://doi.org/10.3402/ijch.v75.33820
8. Послание Президента РФ Федеральному собранию 2021 г. http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/65418
9. *Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al.* Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century // Nat.Commun.2018. V. 9. № 1. https://doi.org/10.1038/s41467-018-07557-4
10. *Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др.* Оценка ущерба жилым и промышленным зданиям и сооружениям при изменении температур и оттаивании многолетнемёрзлых грунтов в Арктической зоне Российской Федерации к середине XXI века // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 1. С. 14–31.
11. *Бадина С.В.* Прогнозирование социально-экономических рисков в криолитозоне российской Арктики в контексте перспективных климатических изменений // Проблемы прогнозирования. 2020. № 4. С. 55–65.
12. *Фаузер В.В., Лыткина Т.С., Фаузер Г.Н.* Демографические и миграционные процессы на Российском Севере: 1980–2000 гг. / Отв. ред. В.В. Фаузер. Сыктывкар: Изд-во СГУ им. Питирима Сорокина, 2016.
13. *Шеломенцев А.Г., Воронина Л.В., Смиренникова Е.В., Уханова А.В.* Факторы миграции в Арктической зоне Российской Федерации // Ars Administrandi (Искусство управления). 2018. № 3. С. 396–418.
14. *Коровкин А.Г., Синица А.Л.* Оценка интенсивности и направлений движения населения в регионах российской Арктики в 1991–2015 гг. // Научные труды Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. Т. 17. М.: ИНП РАН, 2019. С. 323–340.
15. *Фаузер В.В., Смирнов А.В.* Миграции населения российской Арктики: модели, маршруты, результаты // Арктика: экология и экономика. 2020. № 4(40). С. 4–18.
16. *Ржаницына Л., Кравченко Е.* Современный рынок труда в Арктической зоне Российской Федерации // Федерализм. 2020. № 3(99). С. 39–51.
17. *Фаузер В.В., Смирнов А.В., Лыткина Т.С., Фаузер Г.Н.* Локальные рынки труда российской Арктики: классификация по видам деятельности // Арктика: экология и экономика. 2019. № 2(34). С. 4–17.
18. *Бурый О.В., Дмитриева Т.Е.* Теоретические и практические вопросы создания самодостаточных арктических поселений // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2015. № 3. С. 141–148.
19. Здравоохранение в России – 2019. М.: Росстат, 2019.
20. *Лексин В.Н.* Организация здравоохранения в Арктической зоне России. Накопленные и новые проблемы и решения // Российский экономический журнал. 2019. № 4. С. 3–20.

21. *Будиев А.Ю., Лупачев В.В., Логунов К.В.* Медицинские проблемы Арктики // Вестник Северного (Арктического) университета. Естественные науки. 2013. Вып. 3. С. 163–165.
22. Приказ Минстроя России 11.03.2021 г. № 131/пр. https://minstroyrf.gov.ru/docs/118296/
23. *Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Nelson F.E.* Permafrost, infrastructure and climate change: a GISbased landscape approach to geotechnical modeling // Arctic, Antarctic, Alpine Res. 2012. V. 44. № 3. P. 368–380.
24. *Nelson F.E., Anisimov O.A., Shiklomanov N.I.* Subsidence risk from thawing permafrost // Nature. 2001. № 410. P. 889–890.
25. *Streletskiy D., Shiklomanov N., Grebenets V.* Changes of foundation bearing capacity due to climate warming in Northwest Siberia // Earth's Cryosphere. 2012. V. XVI. № 1. P. 22–32.
26. *Шартова Н.В., Грищенко М.Ю., Ревич Б.А.* Оценка территориальной доступности медицинских учреждений по открытым данным на примере Архангельской области // Социальные аспекты здоровья населения. 2019. № 6. С. 1–29.
27. Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечении национальной безопасности на период до 2035 г.". https://www.kremlin.ru/acts/bank/45972

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1137–1143

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕРЕНОС И ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЧНОГО СТОКА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

© 2021 г. А. А. Осадчиев

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

E-mail: osadchiev@ocean.ru

Поступила в редакцию 23.05.2021 г.
После доработки 26.06.2021 г.
Принята к публикации 10.07.2021 г.

В статье рассматриваются результаты исследований пресноводного стока великих сибирских рек Оби, Енисея и Лены в российском секторе Северного Ледовитого океана. Стоки этих рек формируют области опреснения суммарной площадью в сотни тысяч квадратных километров, которые влияют на многие климатические, физические, биологические и геохимические процессы в морях российской Арктики. На основе исследований последних лет показано, что опреснённый поверхностный слой в Восточной Арктике имеет неоднородную структуру, динамику распространения, сезонную и межгодовую изменчивость вследствие его формирования крупными эстуарными реками в Карском море и крупной дельтовой рекой в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море. Обсуждается проблема крупномасштабного межбассейнового переноса опреснённого поверхностного слоя на российском арктическом шельфе, являющегося важным компонентом цикла пресной воды в Северном Ледовитом океане.

Ключевые слова: речной сток, речной плюм, опреснённый поверхностный слой, поверхностная циркуляция, климатические процессы, Обь, Енисей, Лена, Северный Ледовитый океан.

DOI: 10.31857/S0869587321120082

При впадении рек в море образуются речные плюмы – опреснённые водные массы, формирующиеся в результате перемешивания речного стока и солёных морских вод. Речные плюмы образуются в прибрежных морских акваториях во многих регионах мира и зачастую представляют собой большой по площади, но тонкий поверхностный слой моря. Речные плюмы играют важную роль в глобальных и региональных процессах взаимодействия океана и суши. С речным стоком в Мировой океан поступают значительные потоки плавучести, тепла, терригенной взвеси, биогенных веществ и антропогенных загрязнений [1–6]. Речные плюмы, являясь переходной водной массой между речным стоком и морскими водами, обеспечивают трансформацию и перераспределение этих потоков и тем самым играют роль связующего звена между материковыми и океаническими природными системами. Поэтому речные плюмы существенно влияют на многие физические, биологические и геохимические процессы в прибрежных и шельфовых районах моря, включая формирование стратификации морских вод, прибрежные течения, цикл углерода и биогенов, формирование первичной продукции, изменение морфологии морского дна и т.д. [7–9]. Структура, динамика и изменчивость речных плюмов – ключевые факторы для понимания механизмов адвекции, конвекции, трансформации, накопления и диссипации в море материкового стока, а также взвешенных и растворённых веществ речного происхождения [10–13].

ОСАДЧИЕВ Александр Александрович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

В русскоязычной научной литературе на протяжении долгого времени не было единого термина для речных плюмов как отдельных водных

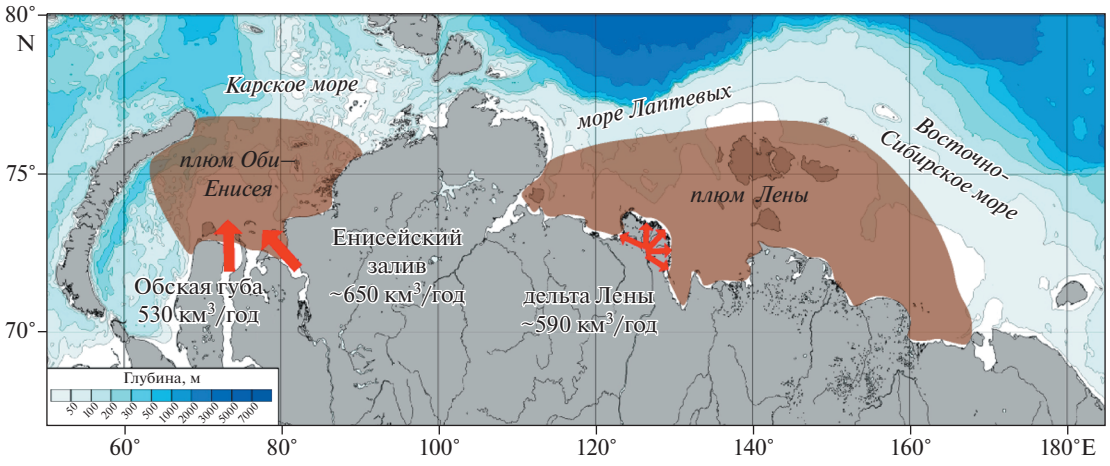


Рис. 1. Расположение и средний годовой сток из Обской губы, Енисейского залива и дельты Лены; области распространения плюма Оби–Енисея в Карском море и плюма Лены в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море

масс. Для их обозначения использовались разные термины, такие как “выносы”, “стоки”, “факелы”, “шлейфы”, “плюмажи”, “линзы”, “зоны опреснения” и т.д. “Плюм” – термин в гидродинамике, обозначающий поток жидкости или газа, распространяющийся в среде жидкости или газа, имеющей другую плотность. Этот термин на протяжении многих лет широко используется в русскоязычной научной литературе для описания подобных процессов в различных областях наук о Земле, в первую очередь, это “мантийный плюм” [14, 15], а также “гидротермальный плюм” [16, 17], “конвективный плюм” [18], “метеороидный плюм” [19]. Первые научные статьи в российских журналах, в которых использовался термин “речной плюм”, появились в 2010–2011 гг. [20–22]. К настоящему моменту опубликованы десятки научных статей, в которых активно используется термин “речной плюм”, и он стал общепринятым в русскоязычной научной литературе.

Северный Ледовитый океан – единственная часть Мирового океана, где взаимодействие материкового стока и морских вод влияет на процессы в глобальном масштабе. В Северный Ледовитый океан, занимающий всего 3% площади поверхности и 1% объёма Мирового океана, поступает значительный материковый сток, составляющий около 11% суммарного мирового стока в океан [23], в результате чего формируются крупные по площади речные плюмы. Распространение и перемешивание речных плюмов определяют стратификацию моря в области формирования сезонного морского льда, тем самым влияя на ледообразование в Северном Ледовитом океане, сезонные колебания альбедо Земли и планетарный климат [24, 25]. Пресноводный сток оказывает существенное влияние на многие региональные процессы в Арктике, особенно в прибрежных и шельфовых районах [24, 26–29]. Значительные объёмы взвешенных и растворённых веществ, поступающих в море с речных стоком, удерживаются в приустьевых зонах и влияют на гидрохимическую и гидробиологическую структуру вод на арктическом шельфе [30]. Стратификация, формируемая пресноводным стоком, ограничивает поступление биогенов в поверхностный слой моря и негативно влияет на биологическую продуктивность на обширных акваториях в Карском море, море Лаптевых и Восточно-Сибирском море [31]. В то же время стратификация приводит к пониженному содержанию кислорода и повышению кислотности воды [32].

В последние десятилетия проводятся интенсивные исследования приустьевых и шельфовых зон в Арктике. В результате сложилось общее понимание пространственных и термохалинных характеристик речных плюмов, образованных арктическими реками. Три крупнейшие реки российского сектора Арктики – Енисей, Лена и Обь – обеспечивают более половины материкового стока в Северный Ледовитый океан [33–35]. Обь и Енисей впадают в крупные эстуарии (Обскую губу и Енисейский залив), расположенные недалеко друг от друга в центральной части Карского моря (рис. 1). Из-за этого плюм Оби и плюм Енисея формируются в приэстуарных акваториях и затем сливаются в единый плюм Оби–Енисея, локализованный в Карском море [36, 37]. Река Лена впадает в юго-восточную часть моря Лаптевых через обширную дельту – одну из крупнейших речных дельт мира [38]. Плюм Лены формируется в придельтовой акватории и распространяется далее в восточную часть моря Лаптевых и западную часть Восточно-Сибирского моря [39] (см. рис. 1).

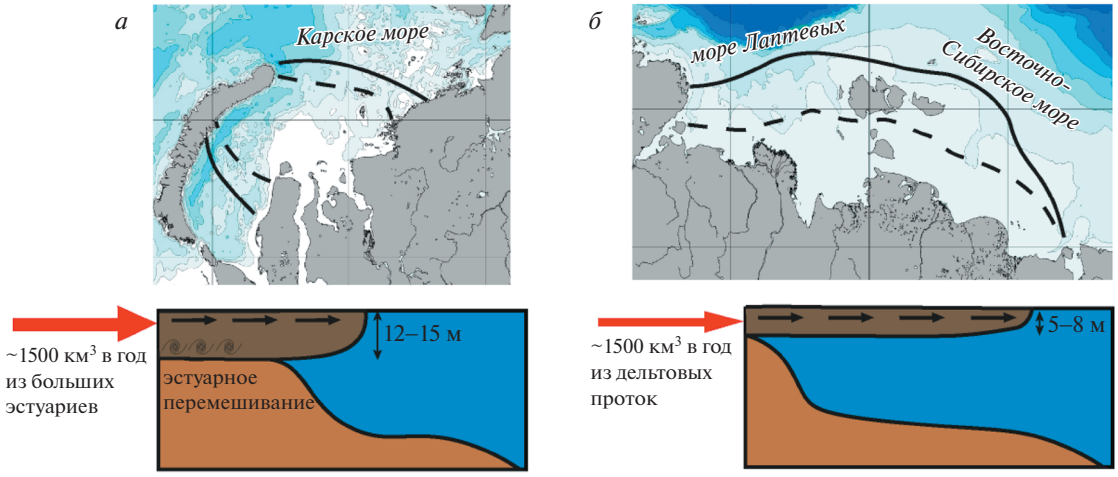


Рис. 2. Межгодовая изменчивость расположения внешней границы плюма Оби–Енисея (*а*) и плюма Лены (*б*) в конце безлёдного периода (сплошная линия – среднемноголетний максимум, пунктирная линия – среднемноголетний минимум). Схема формирования плюма Оби–Енисея стоком из крупных эстуариев (*а*) и плюма Лены стоком из дельтовых проток (*б*)

Процесс трансформации пресноводного стока в этих плюмах включает два последовательных этапа – горизонтальной адвекции летом и вертикального перемешивания осенью и зимой [40, 41]. Подавляющая часть годового стока арктических рек России поступает в Северный Ледовитый океан в течение нескольких месяцев летнего половодья, и в этот период формируются плюмы Оби–Енисея и Лены. Эти плюмы распространяются как тонкие (менее 15 м) и слабосолёные (менее 15 епс) водные массы по большой площади на шельфе Восточной Арктики. После окончания половодья солёность и толщина плюмов постепенно увеличиваются в результате их перемешивания с нижележащими морскими водами в условиях пониженного материкового стока. Практически полное отсутствие стока сибирских рек в течение длинной осенне-весенней межени приводит к окончательной диссипации опреснённого поверхностного слоя. К весне поверхностная солёность в Карском море, море Лаптевых и Восточно-Сибирском море повышается до фоновых значений.

При изучении плюмов Оби–Енисея и Лены возник интересный парадокс. Суммарный пресноводный сток, формирующий плюм Оби–Енисея в Карском море, по объёму в 1.5 раза превышает сток, формирующий плюм Лены в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море. Несмотря на это, площадь области опреснения в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море (300000–500000 км^2) в 1.5–2 раза больше, чем в Карском море (200000–250000 км^2) (рис. 2). Также очень сильно отличается межгодовая изменчивость площади распространения этих плюмов. Плюм Оби–Енисея каждый год занимает примерно одну и ту же площадь в центральной части Карского моря, межгодовая изменчивость его внешней границы невелика [40] (см. рис. 2*а*). Положение и площадь плюма Лены, напротив, имеют значительную межгодовую изменчивость, определяемую ветровыми условиями в течение безлёдного периода года (июль–октябрь) [41] (см. рис. 2*б*). Преобладающие западные ветры вызывают смещение плюма в сторону побережья Сибири, в результате чего он оказывается локализован в южных частях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. В этом случае его меридиональная протяжённость (<250 км) и площадь (~300000 км^2) относительно невелики. При сильных восточных ветрах, напротив, плюм Лены распространяется на бóльшую площадь (до 500000 км^2) в центральных частях этих морей, его меридиональная протяжённость увеличивается до 500–700 км. Исследования, проведённые в последние годы, позволили выяснить, почему так происходит.

На основе анализа натурных данных, собранных в ходе нескольких десятков морских экспедиций за последние 20 лет, было показано, что толщина плюма Лены при его формировании в придельтовой акватории (5–8 м) примерно в 2 раза меньше толщины плюма Оби–Енисея (12–15 м) [40, 41]. Это различие обусловлено морфологией эстуарных и дельтовых источников пресной воды. Лена впадает в море Лаптевых через многочисленные узкие (до нескольких километров) и мелководные (до 5–10 м) дельтовые протоки вдоль 250-километрового участка берега моря, а Обь и Енисей впадают в Карское море через широкие (30–60 км) и глубокие (15–20 м) эстуарии. Из-за этого солёные морские воды практически не проникают в мелководные дельтовые протоки

Лены в отличие от глубоких эстуариев Оби и Енисея. Таким образом, пресноводный сток Лены поступает в море из многочисленных проток и формирует относительно неглубокий плюм (см. рис. 2*б*). Стоки Оби и Енисея, напротив, интенсивно перемешиваются с солёной морской водой в эстуариях и образуют относительно глубокий плюм (см. рис. 2*а*).

Итак, во время своего первичного формирования плюм Лены имеет меньший вертикальный масштаб, но при этом растекается по большей площади моря, чем плюм Оби–Енисея. Этим фактором и объясняется бóльшая площадь плюма Лены по сравнению с плюмом Оби–Енисея при меньшем объёме формирующего его речного стока. Тем же обусловлено и значительное межгодовое непостоянство плюма Лены, вызванное изменчивостью ветрового воздействия. Ветровой импульс практически не передаётся ниже границы между речным плюмом и нижележащим морем из-за резкого скачка плотности в этих слоях. В результате ветровая энергия концентрируется в относительно тонком приповерхностном слое, и интенсивность ветрового переноса речного плюма тем выше, чем меньше его толщина. Поэтому плюм Лены в значительно большей степени подвержен ветровому воздействию, чем плюм Оби–Енисея.

Важным, но до конца не изученным остаётся вопрос о судьбе речных плюмов в холодный период года. Как было показано выше, в Восточной Арктике летом и осенью формируются две большие области опреснения. Зимой эти акватории полностью покрываются льдом, из-за чего в них практически не ведутся натурные измерения, и структура плюмов в этот период не известна. Редкие измерения показывают, что весной перед началом половодья опреснение уже не отмечается. Возникает вопрос: как и куда оно уходит? Есть несколько возможных сценариев этого процесса. Во-первых, после падения речного стока и формирования зимнего ледового покрова речные плюмы могут целиком выноситься из областей их формирования. Из-за влияния силы Кориолиса это может происходить в двух возможных направлениях – на север в глубоководную центральную часть Северного Ледовитого океана и на восток вдоль побережья Сибири [25, 42, 43]. Во-вторых, речные плюмы могут перемешиваться в пределах шельфа, то есть непосредственно в местах их формирования в тёплый период года. Измерения, проводившиеся в последние 20 лет, показали, что в безлёдный период года часто происходит перенос плюмов Оби–Енисея и Лены в восточном направлении вдоль континентального побережья, а переноса в северном направлении за границу шельфа не наблюдается [44]. При этом восточный перенос не является ни стационарным, ни непрерывным и зависит как от регионального ветрового воздействия, так и от количества пресной воды, накопленной в речном плюме [44, 45].

В конце октября 2020 г. в экспедиции на НИС “Академик Мстислав Келдыш” были проведены измерения в проливе Вилькицкого, разделяющем Карское море и море Лаптевых. Важность этих работ заключается в том, что измерения на траектории восточного переноса плюма Оби–Енисея впервые проводились поздней осенью непосредственно перед началом ледообразования, то есть в период максимального накопления пресноводного стока в плюме Оби–Енисея. Эти измерения впервые зафиксировали интенсивный зональный пресноводный перенос из Карского моря в море Лаптевых (рис. 3). Солёность поверхностного слоя по всей ширине пролива Вилькицкого была ниже, чем у источника пресной воды – у Обской губы. Таким образом, измерения показали начало интенсивного восточного переноса плюма Оби–Енисея из Карского моря в море Лаптевых, который, по-видимому, продолжается и после формирования ледового покрова. Этот результат свидетельствует в пользу доминирования восточного переноса речных плюмов, формирующихся в морях российской Арктики, в зимний период. Тем не менее для подтверждения этого вывода требуются дополнительные измерения, в первую очередь долговременные измерения солёности на заякоренных станциях на северных и восточных окраинах исследуемых морей в зимний период.

* * *

Северный Ледовитый океан – единственная область Мирового океана, где взаимодействие материкового стока и морских вод влияет на процессы в глобальном масштабе. Крупные реки, впадающие в Северный Ледовитый океан, в первую очередь Лена, Енисей и Обь, формируют области опреснения в российском секторе Арктики площадью в сотни тысяч квадратных километров. Распространение и перемешивание речного стока в Арктике определяет стратификацию моря в области формирования сезонного морского льда, тем самым влияя на ледообразование в Северном Ледовитом океане, сезонные колебания альбедо Земли и планетарный климат.

В условиях происходящих климатических изменений (увеличение речного стока и сокращение морского льда в Северном Ледовитом океане) большое значение приобретают специализированные исследования современного состояния цикла пресной воды в Арктике. Изучение процессов распространения и перемешивания стока великих сибирских рек в морях российской Арктики, проводящееся в течение последних 20 лет, позволило детально проследить структуру, динамику и изменчивость плюмов Оби–Енисея и Лены. Было установлено, что первичное формиро-

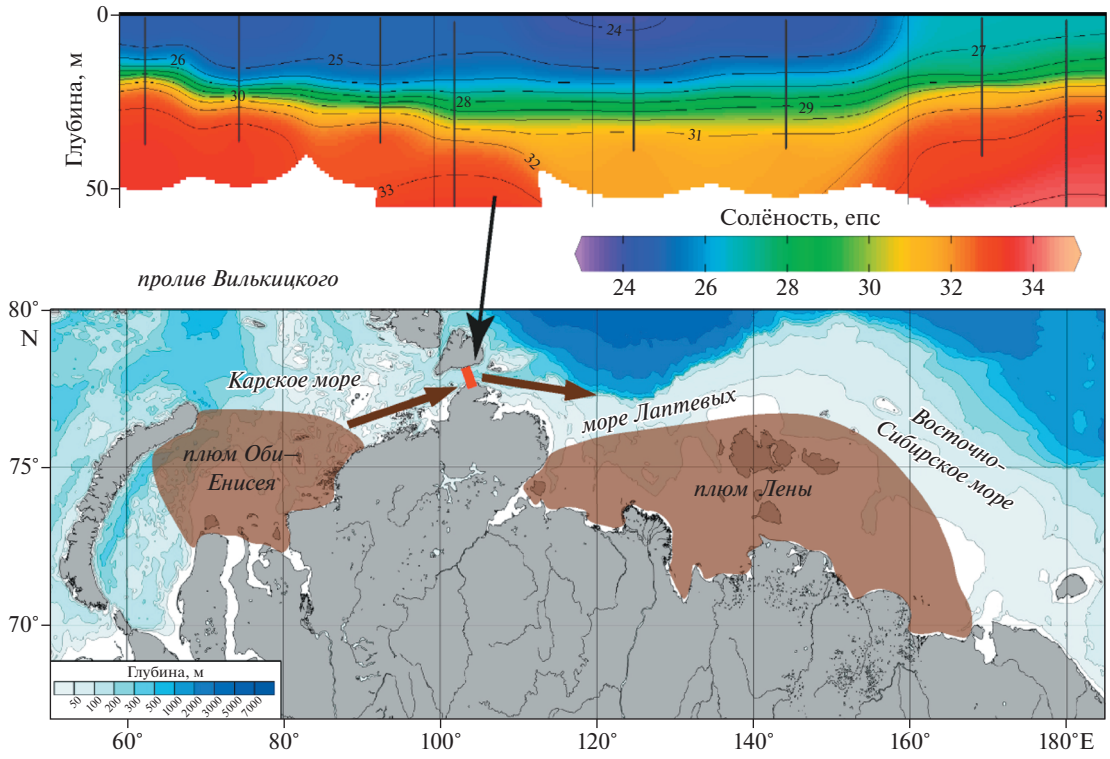


Рис. 3. Распределение солёности поперёк пролива Вилькицкого (красная линия на карте) в конце октября 2020 г. (сверху), иллюстрирующее интенсивный пресноводный перенос из Карского моря в море Лаптевых (коричневые стрелки на карте) (снизу)

вание этих речных плюмов в приэстуарных и придельтовых акваториях крупных рек определяет гидрологическую структуру опреснённого поверхностного слоя моря в масштабах всего шельфа Восточной Арктики. Благодаря полученным данным складываются принципиально новые представления о внутренней структуре, динамике распространения, сезонной и межгодовой изменчивости крупномасштабного поверхностного опреснённого слоя на шельфе морей российской Арктики.

Результаты проведённых исследований создают основу для изучения многих физических (циркуляция вод, стратификация), биологических (продуктивность экосистем) и геохимических (цикл углерода и биогенов, асидификация) процессов на континентальном шельфе и склоне российской Арктики. Кроме того, изучение переноса и трансформации пресноводного стока в морях российской Арктики имеет ключевое значение для понимания сезонных процессов ледообразования и ледотаяния в масштабе всего Северного Ледовитого океана. На этой основе можно строить прогнозы и оценки последствий глобальных климатических изменений, происходящих в Арктической зоне Российской Федерации под влиянием естественных и антропогенных факторов. А это важно в том числе и с точки зрения освоения Северного Морского пути.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНАСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема 0128-2021-0001) и гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных – кандидатов наук в рамках проекта МК-98.2020.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dittmar T., Kattner G.* The biogeochemistry of the river and shelf ecosystem of the Arctic Ocean: a review / The 7th International Estuarine Biogeochemistry Symposium // Marine Chemistry. 2003. V. 83. № 3. P. 103–120.
2. *Boyer E.W., Howarth R.W., Galloway J.N. et al.* Riverine nitrogen export from the continents to the coasts // Global Biogeochem. Cycles. 2006. V. 20. GB1S91.
3. *Milliman J.D., Farnsworth K.L.* River discharge to the coastal ocean: A global synthesis. Cambridge University Press, 2013.
4. *Bhatia M., Kujawinski E., Das S. et al.* Greenland meltwater as a significant and potentially bioavailable source of iron to the ocean // Nature Geosci. 2013. V. 6. P. 274–278.

5. *Lebreton L., van der Zwet J., Damsteeg J.W. et al.* River plastic emissions to the world's oceans // Nat. Commun. 2017. V. 8. 15611.
6. *Осадчиев А.А., Барымова А.А., Седаков Р.О. и др.* Гидрофизическая структура и динамика течения плюма реки Кодор // Океанология. 2021. № 1. С. 5–20.
7. *Emmett R.L., Krutzikowsky G.K., Bentley P.* Abundance and distribution of pelagic piscivorous fishes in the Columbia River plume during spring/early summer 1998–2003: Relationship to oceanographic conditions, forage fishes, and juvenile salmonids // Progr. Oceanogr. 2006. V. 68. № 1. P. 1–26.
8. *Zhou M., Shen Z., Yu R.* Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River: Coastal ecosystem responses to Changing nutrient inputs from large temperate and subtropical rivers // Continent. Shelf Res. 2008. V. 28. № 12. P. 1483–1489.
9. *Huang, W.-J., Cai W.-J., Wang Y. et al.* The carbon dioxide system on the Mississippi River-dominate continental shelf in the northern Gulf of Mexico: 1. Distribution and air-sea CO_2 flux // J. Geophys. Res. Oceans. 2015. V. 120. P. 1429–1445.
10. *Horner-Devine A.R., Hetland R.D., MacDonald D.G.* Mixing and transport in coastal piver plumes // Ann. Rev. Fluid Mech. 2015. V. 47. № 1. P. 569–594.
11. *Осадчиев А.А.* Распространение плюма реки Амур в Амурском лимане, Сахалинском заливе и Татарском проливе // Океанология. 2017. № 3. С. 417–424.
12. *Korshenko E., Zhurbas V., Osadchiev A. et al.* Fate of river-borne floating litter during the flooding event in the northeastern part of the Black Sea in October 2018 // Mar. Poll. Bull. 2020. V. 160. 111678.
13. *Osadchiev A.A., Barymova A.A., Sedakov R.O. et al.* Spatial structure, short-temporal variability, and dynamical features of small river plumes as observed by aerial drones: Case study of the Kodor and Bzyp river plumes // Remote Sensing. 2020. V. 12. 3079.
14. *Ярмолюк В.В., Коваленко В.И.* Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. № 6. С. 556–586.
15. *Петрищевский А.М., Юшманов Ю.П.* Геофизические, магматические и металлогенические признаки проявления мантийного плюма в верховьях рек Алдан и Амур // Геология и Геофизика. 2014. № 4. С. 568–593.
16. *Лукашин В.Н., Алейник Д.Л., Исаева А.Б. и др.* О геохимии плюма нейтральной плавучести над гидротермальным полем Рэйнбоу и потоках осадочного материала из него // Геохимия. 2004. № 5. С. 488–502.
17. *Русаков В.Ю.* Геохимические особенности гидротермальных плюмов над полями Таг и Брокен Спур (Срединно-Атлантический хребет) // Геохимия. 2009. № 2. С. 115–140.
18. *Полудницин А.Н., Шарифулин А.Н.* Динамика спирального конвективного плюма в жидкости с большим числом Прандтля // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2013. № 6. С. 29–32.
19. *Черногор Л.Ф.* Магнито-ионосферные эффекты метеороидного плюма // Геомагнетизм и Аэрономия. 2018. № 1. С. 125–132.
20. *Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В. и др.* Поверхностный опреснённый слой в Карском море // Океанология. 2010. № 5. С. 698–708.
21. *Журбас В.Н., Завьялов П.О., Свиридов А.С. и др.* О переносе стока малых рек вдольбереговым бароклинным морским течением // Океанология. 2011. Т. 51. № 3. С. 440–449.
22. *Короткина О.А., Завьялов П.О., Осадчиев А.А.* Субмезомасштабная изменчивость полей течения и ветра в прибрежной акватории Сочи // Океанология. 2011. № 5. С. 797–806.
23. *Dai A., Trenberth K.E.* Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations // J. Hydrometeorol. 2002. V. 3. P. 660–687.
24. *Nummelin A., Ilicak M., Li C. et al.* Consequences of future increased Arctic runoff on Arctic Ocean stratification, circulation, and sea ice cover // J. Geophys. Res. Oceans. 2016. V. 121. P. 617–637.
25. *Carmack E.C., Yamamoto-Kawai M., Haine T.W.N. et al.* Freshwater and its role in the Arctic Marine System: Sources, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and global oceans // J. Geophys. Res. Biogeosciences. 2016. V. 121. № 3. P. 675–717.
26. *Yamamoto-Kawai M., McLaughlin F.A., Carmack E.C. et al.* Surface freshening of the Canada Basin, 2003–2007: River runoff versus sea ice meltwater // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. C00A05
27. *McLaughlin F.A., Carmack E.C.* Nutricline deepening in the Canada Basin, 2003–2009 // Geophys. Res. Lett. 2010. V. 37. L24602.
28. *Pogojeva M., Zhdanov I., Berezina A. et al.* Distribution of floating marine macro-litter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas // Mar. Poll. Bull. 2021. V. 166. 112201.
29. *Yakushev E., Gebruk A., Osadchiev A. et al.* Microplastics distribution in the Eurasian Arctic is affected by Atlantic waters and Siberian rivers // Comm. Earth Environ. 2021. V. 2. 23.
30. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. № 5. С. 735–747.
31. *Carmack E., Wassmann P.* Food webs and physical-biological coupling on pan-Arctic shelves: unifying concepts and comprehensive perspectives // Progr. Oceanogr. 2006. V. 71. Is. 2–4. P. 446–477.
32. *Semiletov I., Pipko I., Gustaffson O. et al.* Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon // Nat. Geosci. 2016. V. 9. P. 361–365.
33. *Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov J.S. et al.* A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // Am. J. Sci. 1996. V. 296. P. 664–691.
34. *Osadchiev A.A., Medvedev I.P., Shchuka S.A. et al.* Influence of estuarine tidal mixing on structure and spatial scales of large river plumes // Ocean Sci. 2020. V. 16. P. 1–18.
35. *Osadchiev A.A., Silvestrova K.P., Myslenkov S.A.* Wind-driven coastal upwelling near large river deltas in the

Laptev and East-Siberian seas // Rem. Sens. 2020. V. 12. 844.

36. *Osadchiev A.A., Izhitskiy A.S., Zavialov P.O. et al.* Structure of the buoyant plume formed by Ob and Yenisei river discharge in the southern part of the Kara Sea during summer and autumn // J. Geophys. Res. Oceans. 2017. V. 122. P. 5916–5935.
37. *Osadchiev A.A., Asadulin En.E., Miroshnikov A.Yu. et al.* Bottom sediments reveal inter-annual variability of interaction between the Ob and Yenisei plumes in the Kara Sea // Sci. Rep. 2019. V. 9. 18642.
38. *Спивак Э.А., Осадчиев А.А., Семилетов И.П.* Структура и изменчивость плюма реки Лена в юго-восточной части моря Лаптевых // Океанология. 2021. № 6. С. 887–889.
39. *Dmitrenko I., Kirillov S., Eicken H. et al.* Wind-driven summer surface hydrography of the eastern Siberian shelf // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L14613.
40. *Osadchiev A.A., Frey D.I., Shchuka S.A. et al.* Structure of the freshened surface layer in the Kara Sea during ice-free periods // J. Geophys. Res. Oceans. 2021. V. 126. № 1. e2020JC016486.
41. *Osadchiev A.A., Frey D.I., Spivak E.A. et al.* Structure of the freshened surface layer in the Kara Sea during ice-free periods // J. Geophys. Res. Oceans. 2021. in press.
42. *Morison J., Kwok R., Peralta-Ferriz C. et al.* Changing Arctic Ocean freshwater pathways // Nature. 2012. V. 481. P. 66–70.
43. *Carmack E., Winsor P., Williams W.* The contiguous panarctic Riverine Coastal Domain: A unifying concept. Overarching perspectives of contemporary and future ecosystems in the Arctic Ocean // Progr. Oceanogr. 2015. V. 139. P. 13–23.
44. *Osadchiev A.A., Pisareva M.N., Spivak E.A. et al.* Freshwater transport between the Kara, Laptev, and East-Siberian seas // Sci. Rep. 2020. V. 10. 13041.
45. *Janout M.A., Aksenov Y., Holemann J.A. et al.* Kara Sea freshwater transport through Vilkitsky Strait: Variability, forcing, and further pathways toward the western Arctic Ocean from a model and observations // J. Geophys. Res. Oceans. 2015. V. 120. P. 4925–4944.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1144–1156

ЗА РУБЕЖОМ

СЕДЬМАЯ ПЕРЕПИСЬ НАСЕЛЕНИЯ В КНР: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТРАНЫ

© 2021 г. А. В. Акимов[a,*], К. А. Гемуева[b,**], Н. К. Семенова[a,***]

[a] Институт востоковедения РАН, Москва, Россия
[b] Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия

*E-mail: akimovivran@mail.ru
**E-mail: krina07@mail.ru
***E-mail: semenovanelli-2011@mail.ru

Поступила в редакцию 01.07.2021 г.
После доработки 15.07.2021 г.
Принята к публикации 25.07.2021 г.

Статья посвящена комплексному анализу данных седьмой переписи населения в Китае, проведённой в 2020 г., выявлению важнейших демографических и социально-экономических тенденций развития народонаселения Китайской Народной Республики. Актуальность исследования обусловлена тем влиянием, которое демографические изменения оказывают на крупнейшую экономику мира. Учитывая современный высокий уровень глобализации и масштаб населения КНР, любые риски и угрозы демографического характера оказывают непосредственное влияние не только на безопасность Китая, но потенциально и на ситуацию в Азиатско-Тихоокеанском регионе и мире в целом. Очевидна практическая значимость работы и для России, в частности, с точки зрения совершенствования миграционной политики РФ.
В основу исследования положен большой массив статистических данных, в том числе Национального бюро статистики КНР. Проанализированы количественные и качественные изменения населения Китая: соотношение коэффициентов рождаемости, смертности, естественного прироста и фертильности, гендерный и возрастной дисбалансы, внутренние миграции.

Ключевые слова: КНР, перепись населения, демографические тренды, трансформация человеческого капитала, демографическая политика, экономическое развитие, новые технологии.

DOI: 10.31857/S0869587321120021

Помимо Covid-19 в 2020 г. важнейшим демографическим событием стала перепись населения Китайской Народной Республики. Её значимость связана с тем, что Китай является самой крупной по численности населения страной мира, с тем, что правительство КНР проводит активную демографическую политику по регулированию рождаемости, с нарастанием в Китае тенденции старе-

АКИМОВ Александр Владимирович – доктор экономических наук, руководитель отдела экономических исследований ИВ РАН. ГЕМУЕВА Карина Алиевна – младший научный сотрудник ИМЭМО им. М.Е. Примакова РАН. СЕМЕНОВА Нелли Кимовна – кандидат политических наук, старший научный сотрудник отдела экономических исследований ИВ РАН.

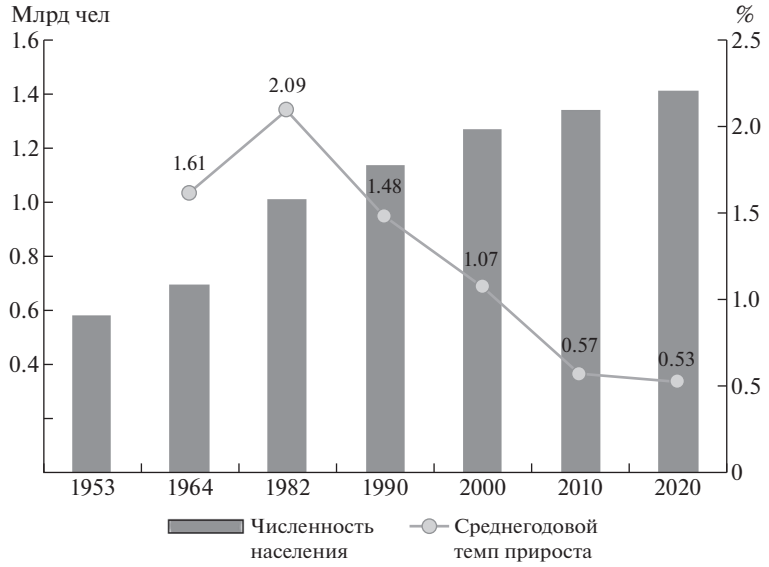


Рис. 1. Данные семи переписей населения КНР: численность населения и среднегодовой коэффициент прироста населения, 10 тыс. человек

Источник: Национальное бюро статистики КНР. http://www.stats.gov.cn (дата обращения 20.05.2021).

ния населения, которая представляет собой серьёзный социальный вызов, а также угрозу сложившейся экономической модели развития, основанной на многочисленной рабочей силе.

Быстрому развитию Китая за последние 40 лет, помимо эффективных экономических реформ, способствовал бурный рост населения в 1980–2000 гг. (рис. 1), так называемый *демографический дивиденд*, который способствовал значительному повышению ВВП. Другими словами, в стране увеличивалась доля трудоспособного населения при уменьшении доли иждивенцев молодых возрастов (детей) и всё ещё низкой доле иждивенцев старших возрастов (пенсионеров).

ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В КНР

Во второй половине прошлого века социально-экономические проблемы в Китае, вызванные предшествующими бурными историческими событиями и быстрым ростом населения, стояли достаточно остро, и с момента основания Китайской Народной Республики в 1949 г. партийное и государственное руководство уделяло демографическим проблемам пристальное внимание. Однако политика контроля над рождаемостью строилась на основе политических идей и экономических теорий без учёта социально-демографических факторов. В основе принятия решений по вопросам народонаселения «лежали две группы глубоко переплетённых идей: “революция и развитие” и “движение, план, рынок”. Эти два набора идей тесно связаны со структурой интересов и идеологией государственного руководства в разные периоды, которые не всегда можно объяснить теорией рационального выбора» [1].

Основное содержание политики планирования семьи в Китае сводится к следующему. В период 1949–1970 гг. государственное поощрение населения к деторождению хаотично чередовалось с периодами контроля над рождаемостью. К 1970 г. население Китая стало приближаться к 1 млрд человек, и в период 1970–1976 гг. проводилась политика “позже, реже, меньше”, то есть пропаганда поздних браков, поздних родов, меньшего числа рождений. В 1977–1984 гг. произошло ужесточение контроля над рождаемостью и последовательное претворение в жизнь стратегии “одна семья – один ребёнок”. Однако перепись населения 2000 г. выявила тенденцию старения населения на фоне низкой рождаемости. С целью преодоления этой тенденции с 2015 г. начали проводить политику “два ребёнка у родителей единственных детей” и “два ребёнка для всех”, которая дала кратковременный эффект увеличения рождаемости в 2016–2017 гг.

ОСНОВНЫЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРЕПИСИ

С момента основания КНР в стране проведено семь переписей населения. Начиная с 1990 г. согласно Закону о статистике Китайской Народной Республики [2] и Положению о национальной переписи [3] каждые 10 лет осуществляется национальный учёт населения. Седьмая национальная

перепись населения Китая[1] проходила с 1 ноября по 10 декабря 2020 г. [4].

Особенностью последней переписи стало использование электронного сбора данных. Каждый из около 7 млн специалистов по переписи отвечал за электронную регистрацию в среднем 250 человек [5]. В соответствии с традицией и согласно объявленному сроку данные должны были быть опубликованы в последних числах апреля 2021 г. [6], однако только 11 мая 2021 г. состоялось официальное объявление результатов переписи [7]. Учитывая уважение в Китае к протоколу и символизмам, отход от намеченной даты должен был иметь существенные основания. Ведь эта задержка привлекла внимание международной общественности, особенно оппозиционно настроенной к КНР, и послужила поводом для возникновения конспирологических теорий. Согласно официальной версии, задержка обнародования результатов была связана с "увеличенным объёмом данных бюллетеня переписи и, соответственно, увеличением объёма подготовительной работы" [8].

Альтернативные версии сводились к следующему.

Во-первых, "скорость и масштабы демографического кризиса в Китае превзошли ожидания людей, и его влияние на страну будет более катастрофическим" [9], чем предполагалось. Снижение темпов роста населения КНР, которое обнаружила перепись, может означать, что в недалёком будущем население Индии, которое оценивается в 1.39 млрд человек, превысит население Китая [10]. Этот факт "окажет огромное влияние на то, как китайцы видят свою страну" [9]. Дух соревновательности, присущий китайцам, играет здесь не последнюю роль.

Во-вторых, существует мнение, что людские потери Китая вследствие эпидемии COVID-19 существенно превышают официальные данные [11], и это могли продемонстрировать результаты переписи. Этот вывод подтверждают некоторые китайские источники, в частности, было заявлено, что "официальные лица предоставили общественности более оптимистичные данные, чем реальные, к которым они имели доступ внутри страны" [12].

В-третьих, завышенные оценки численности населения "связаны с тем, что фискальная система использует данные о населении для определения бюджетов, в том числе на образование и общественную безопасность" [13]. Согласно официальным публикациям "этот национальный обзор (данные седьмой переписи населения КНР – *прим. авт.*) содержит важную информацию о структуре и распределении населения, необходимую для подготовки 14-го пятилетнего плана в целях содействия качественному развитию и улучшению положения населения: определения будущих доходов, потребления, образования, занятости, пенсий, медицинского обслуживания и социального обеспечения, планированию строительства учебных и медицинских учреждений, объектов обслуживания для детей и пожилых людей, распределению промышленных и коммерческих услуг торговых точек, строительству городских и сельских дорог" [14].

В дополнение к переписи населения проводился учёт жилищного фонда, благодаря которому были получены необходимые сведения для корректировки политики Китая в области жилищного строительства, распределения земли, городского планирования, регионального развития и других стратегий, включая сбор налога на недвижимость [15].

Таким образом, констатация факта сокращения численности населения может нанести серьёзный ущерб многим экономическим агентам крупнейшей экономики Азии, затронув всё – от потребления до ухода за пожилыми людьми. Издание "South China Morning Post" (Гонконг, КНР) в 2019 г. опубликовало статью о том, что численность населения Китая завышается, для того что бы завуалировать "пагубное наследие политики планирования семьи" [16].

Острота момента прямо и косвенно подтверждается поспешностью принятия новой государственной программы по дальнейшей оптимизации политики в области деторождения. Политбюро ЦК КПК провело 31 мая 2021 г. заседание, чтобы заслушать отчёт об основных стратегиях и мерах по активному реагированию на старение населения в период 14-й пятилетки и рассмотреть "Решение об оптимизации политики в области фертильности для содействия долгосрочному и сбалансированному развитию населения", где было объявлено о мерах государственной поддержки семей с детьми и введении политики "трёх детей" [17]. Однако по мнению экспертов, не следует ожидать, что политические изменения будут способствовать повышению рождаемости в Китае, так как "лишь относительно небольшое количество людей на самом деле хотят иметь третьего ребёнка. Причины включают высокую стоимость ухода за детьми и ограничение возможностей карьерного роста женщин" [18].

С момента публикации данных седьмой национальной переписи и в КНР, и за рубежом опубликованы многочисленные статистические обзо-

[1] Перепись включает данные о населении 31 единицы провинциального уровня: 23 провинции, пять автономных районов, четыре города, находящихся в непосредственном подчинении центрального правительства, и действующий военный персонал в материковом Китае. Перепись не включает сведений о жителях Гонконга, Макао и Тайваня, а также иностранном персонале, проживающем на этих территориях.

Таблица 1. Данные переписей населения КНР

Порядковый номер год проведения Показатели	№ 1 1953	№ 2 1964	№ 3 1982	№ 4 1990	№ 5 2000	№ 6 2010	№ 7 2020
Численность населения страны, млн чел. в т.ч. материковый Китай	602	720	1032	1160	1295	1371	1443
	595	695	1008	1134	1266	1340	1412
Среднегодовой прирост период, %	–	1.61	2.09	1.48	1.07	0.57	0.53
Коэффициент рождаемости, %	37	39.14	20.05	15.62	7.72	11.9	8.5
Количество новорожденных, млн чел.	21.26	27.21	22.29	23.73	17.64	15.88	12
Общий коэффициент фертильности %	6.05	6.18	2.86	2.31	1.22	1.44	1.3
Доля мужского населения, %	51.82	51.45	51.50	51.52	51.63	51.27	51.24
Гендерный баланс, третичный, %	1.08	1.06	1.05	1.06	1.07	1.05	1.05
Гендерный баланс, вторичный, %	*	1.07	1.06	1.10	1.16	1.18	1.11
Средний размер домашнего хозяйства, чел.	4.33	4.43	4.41	3.96	3.44	3.10	2.62
Доля населения в возрасте 0–14 лет, %	36.27	40.69	33.60	27.70	22.89	16.60	17.95
Доля населения в возрасте 15–59 лет, %	56.41	53.51	59	63.50	70.15	70.14	63.35
Доля населения в возрасте 60 лет, %,	7.32	6.08	7.4	8.81	10.33	13.26	18.7
в т.ч. > 65 лет, %	4.42	3.54	4.9	5.57	6.96	8.87	13.5
Средняя продолжительность жизни, лет	55.8	*	67.84	68.55	71.40	74.83	77
в т.ч.: у мужчин	*	*	*	66.84	69.63	72.38	73.64
у женщин	*	*	*	70.47	73.33	77.37	79.43
Коэффициент смертности, %	14	11.5	6.6	6.67	6.45	7.11	7.07
Население с высшим образованием, млн ч	*	2.88	4.41	16.16	45.71	119.60	218.36
Доля в общей численности, %	*	0.4	0.44	1.6	3.6	8.93	15.5
Доля неграмотного населения, %	80	38.10	23.5	15.88	6.72	4.08	2.67
Средняя продолжительность обучения, лет	*	*	*	*	*	9.08	9.91
Доля титульной нации Хань, %	98.94	98.22	97.30	91.96	91.59	91.51	91.11
Доля городского населения, %	13.31	18.37	21.13	26.41	36.22	50.00	63.89
Доля мигрирующего населения, %	*	*	0.66	1.89	10	19.40	26.60
Территориальное распределение населения, %:							
Северо-Восток	7	*	*	*	*	8.18	6.98
Западный Китай	30	*	*	*	*	26.90	27.12
Восточный Китай	35	*	*	*	*	37.78	39.93
Центральный Китай	28	*	*	*	*	26.62	25.83

Источники: составлено авторами по: http://www.stats.gov.cn, https://www.docin.com, http://www.chinabgao.com

ры. Остановимся на анализе ключевых показателей. Несмотря на то, что некоторые эксперты считают, что “большая часть китайской статистики является искусственной” [19], на наш взгляд, с точки зрения структурных изменений опубликованные данные позволяют обозначить основные тренды.

Общая численность населения КНР с 2010 г. увеличилась на 72.06 млн человек, (+5.38%) [7] (табл. 1). Данные государственной статистики подтверждают устойчивую тенденцию снижения прироста населения по крайней мере с 1982 г.:

• среднегодовой прирост населения в 2010–2020 гг. составил 0.53‰ (1.61‰ в 1964 г.); макси-

мальный прирост наблюдался в 1964–1982 гг. – 2.02‰; снижение прироста численности населения в КНР за период с 1982 по 2020 г. составило около 74%;

• общий коэффициент рождаемости (отношение числа родившихся живыми и числа умерших в течение календарного года к среднегодовой численности населения) в 1953–2020 гг. показывает разнонаправленную динамику; по итогам 2020 г. он составил 8.5‰, по сравнению с максимальным значением – 39.14‰ (1964) – он снизился почти в 4.6 раза;

• число новорождённых сократилось в 2.23 раза – с 27.21 млн человек в 1964 г. до 12 млн в 2020 г.; стабильная тенденция к падению этого показателя отмечается с 1990 г.;

• общий коэффициент фертильности (количество рождённых живыми детей в отношении к количеству женщин, которые находятся в репродуктивном возрасте) в 2020 г. – самый низкий за всю историю КНР – 1.3‰ (6.05‰ в 1953 г., 6.18‰ в 1964 г.), он не обеспечивает простого воспроизводства населения, то есть замещения родительского поколения детьми;

• в населении КНР по-прежнему отмечается преобладание мужчин – 51.24% по итогам 2020 г. (51.82% в 1953 г.), женщины составляют 48.76%. Учитывая масштаб населения Поднебесной, разница в 2.48% в абсолютных цифрах достигает 34.9 млн человек – мужчин, которые не могут создать семью. Сохраняются проявления третичного гендерного дисбаланса: коэффициент 2020 г. составляет 1.05‰ (1.07‰ в 2000 г.); коэффициент вторичного гендерного дисбаланса несколько выше – 1.11‰ (1.16‰ в 2020 г.)[2];

• средний размер домохозяйства – 2.62 человека (4.44 в 1964 г., 4.41 в 1982 г.); за время планомерного государственного контроля численности населения (с 1978 г. по н.в.) средний размер семей в Китае уменьшился примерно на 59%.

Данные таблицы 1 отражают не только существенные количественные изменения населения КНР. Основные тенденции качественного изменения человеческих ресурсов в перспективе определят дальнейшее направление развития государства. Существенно меняются возрастная структура и уровень образования населения:

• доля жителей страны в возрасте 0–14 лет снизилась более чем в 2.5 раза – с 40.69% в 1964 г. (максимальное значение) до 16.60% в 2010 г. [20]. В 2020 г. этот показатель составил 17.95% (+1.35%). Доля трудоспособного населения в возрасте 15–59 лет с 2000 г. имеет устойчивую тенденцию к снижению и в 2020 г. составляла 63.35% (–6.79% по сравнению с 2010 г.). Доля населения в возрасте 60 лет и старше увеличилась до 18.70% (+5.44% относительно 2010 г.);

• наблюдается рост средней продолжительности жизни – с 55.8 лет в 1953 г. до 77 лет в 2020-м (73.64 года для мужчин, 79.43 года для женщин), что свидетельствует об учшении качества жизни и медицинского обслуживания. Однако следует учитывать, что ожидаемая продолжительность жизни в Китае сильно дифференцирована по регионам из-за различий в условиях жизни в городе и на селе, в прибрежных и внутренних провинциях. Относительная изоляция сельских районов, сохраняющаяся бедность, низкий уровень общественной инфраструктуры и расходов обусловили очевидные диспропорции: разница в средней продолжительности жизни между развитыми и беднейшими провинциями доходит до 13 лет [21]. В Шанхае, Пекине и Чжэцзяне отмечается низкий уровень смертности даже по стандартам стран с высоким уровнем дохода, в то время как в Тибете, Гуйчжоу и Синьцзяне уровень смертности соответствует странам Юго-Восточной Азии с низкими доходами [22];

• заметно повысился уровень образования населения КНР: доля неграмотных снизилась с 80% (1953) до 2.67% (2020), а доля населения с высшим образованием увеличилась с 0.4% (1964) до 15.5% (2020). Этому способствовало увеличение инвестиций в сферу образования после 18-го съезда КПК (2012). В среднем на обучение китайцы затрачивают около 9.91 лет.

Демографические исследования показывают, что в 2021–2030 гг. абсолютные и относительные показатели числа трудоспособного населения продолжат снижаться довольно быстрыми темпами, коэффициент демографической нагрузки будет расти, демографический дивиденд – постепенно исчезать [23]. Предполагается, что на фоне роста уровня образования населения "демографический дивиденд постепенно будет переходить в дивиденд талантов... что будет способствовать дальнейшему преобразованию модели экономического развития" [24].

Национальный состав и распределение населения по территории страны так же претерпевают изменения. Доли титульной нации хань и этнических меньшинств в 2020 г. составили 91.11% (–0.4% к 2010 г.) и 8.89% соответственно. Тенденция увеличения численности этнических меньшинств остаётся устойчивой с 1953 г., когда ханьцев было 98.94%. Рост доли национальных меньшинств в населении объясняется не только сохранением среди них традиционного семейного уклада, низким уровнем урбанизации в местах их проживания, но прежде всего тем, что в годы

[2] Соотношение полов в момент зачатия называют первичным соотношением, в момент рождения – вторичным и по достижении зрелости – третичным; вторичный и третичный гендерные дисбалансы означают нарушение половозрастной структуры общества, соответственно, в момент рождения и по достижении зрелости.

осуществления политики ограничения рождаемости соответствующие меры в отношении нацменьшинств были более мягкими, им разрешалось иметь в семье больше детей, чем ханьцам. Именно поэтому самый высокий среднегодовой прирост населения наблюдается в регионах с традиционно низкой долей титульной нации – в Синьцзян-Уйгурском автономном районе (СУАР) и Тибете – 18.5% и 21.5% соответственно.

В Китае традиционно отмечается неравномерное распределение населения по регионам. В соответствии с данными переписи 2020 г. на восточный регион приходится 39.93% населения, на центральный – 25.83%, на западный – 27.12%, на северо-восточный – 6.98%. По сравнению с 2010 г. [20], доля населения в восточном регионе увеличилась на 2.15%, в центральном – на 0.79%, в западном – на 0.22%, а в северо-восточном – на 1.20%. За последние 10 лет наибольшее сокращение численности населения произошло в трёх северо-восточных провинциях: Ляонин – на 1.15 млн человек, Цзилинь – на 3.37 млн, Хэйлунцзян – на 6.46 млн [7]. Эта тенденция объясняется тремя причинами: климатическими особенностями, экономическим спадом на соответствующих территориях и связанной с этим миграцией населения (особенно молодёжи). Сейчас население сконцентрировано в экономически развитых регионах и городских агломерациях. Наибольший среднегодовой прирост в связи с внутренней миграцией зафиксирован в Гуандуне и Чжэцзяне – 19.6% и 20.8% соответственно.

Существенную роль в демографическом развитии Китая играет урбанизация. Доля городского населения выросла за последнее десятилетие до 63.89% (+14.21%), соответственно доля сельского населения сократилась до 36.11% (см. табл. 1). В 1953–1990 гг. рост городского населения составлял 2.76–5.11% в период между переписями. Начиная с 1990 г. темпы урбанизации ускорились, каждые десять лет доля городского населения стала увеличиваться на 9.81–13.89%.

Заметным явлением и особенностью демографической ситуации в КНР стала внутренняя трудовая миграция. Если по итогам переписей 1982 и 1990 гг. показатели внутренней миграции не превышали 0.66–1.89% населения, то в период 1990–2020 гг. численность населения, покинувшего место постоянного проживания, выросла в 14 раз. С 2010 г. рост показателя составил 69.73%. Другими словами, более четверти населения страны (375.82 млн человек) проживает не там, где зарегистрировано их домохозяйство, и не имеет статуса местного домохозяйства в системе хукоу [25] (система социального управления в Китае, которая связывает каждого жителя страны с местом его рождения, а также с доступом к медицинскому обслуживанию, пенсии, местным образовательным ресурсам для детей, программам социального обеспечения и т.п.). Существенная доля перемещающегося населения – значимый социальный и экономический вызов для КНР.

СТАРЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ КИТАЯ – РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

За период активной политики контроля народонаселения (с 1978 г.) в КНР произошёл демографический переход от традиционного к современному типу воспроизводства населения, которому присущи низкие показатели смертности, рождаемости и естественного прироста. С одной стороны, были созданы благоприятные условия для последующего социально-экономического развития, с другой – возникли новые демографические проблемы, одна из которых – старение населения [26].

Показатели рождаемости в Китае снижаются в течение нескольких лет подряд (рис. 2). В 2016 г. власти, обеспокоенные старением населения, отменили действовавшую с 1978 г. политику “одна семья – один ребёнок” и разрешили китайцам иметь двух детей. Эта мера обеспечила скачок рождаемости (+7.9% в 2016 г., коэффициент рождаемости 12.95‰), но затем кривая снова повернула вниз (–0.7% в 2017 г.). В 2019 г. число рождений составило 14.65 млн (–580 тыс. относительно 2018 г.) [27], коэффициент рождаемости – 10.48‰ (–0.46‰ относительно 2018 г.).

Ситуация резко ухудшилась после эпидемии Covid-19. В 2020 г. число рождений снизилось до 12 млн (–18% по сравнению с 2019 г.), а общий коэффициент фертильности упал до крайне низкого уровня 1.3. Данные мониторинга рождаемости Национальной комиссии здравоохранения [28] показали, что эпидемия более серьёзно затронула молодёжь. В 2020 г. количество рождений у женщин в возрасте до 30 лет сократилось по сравнению с предыдущим годом на 23.6%. Количество первых и вторых рождений в этой возрастной группе уменьшилось на 22% и 26% соответственно [29].

Как уже отмечалось выше, седьмая перепись подтвердила тенденцию старения населения: 60–65-летнего возраста достигли 73.64 млн человек (+0.3% относительно 2010 г.), 65 лет и старше – 190.64 млн, что составляет 13.50% населения страны (+4.63% к 2010 г.) [20]. Снижение рождаемости и увеличение числа пожилых людей могут иметь своим следствием диспропорции на рынке труда, дефицит предложения рабочей силы (рис. 3). По прогнозам, к 2030 г. соотношение детей, трудоспособного населения и пожилых в городских агломерациях составит 14:67:18, а к 2035 г. – 20:60:20.

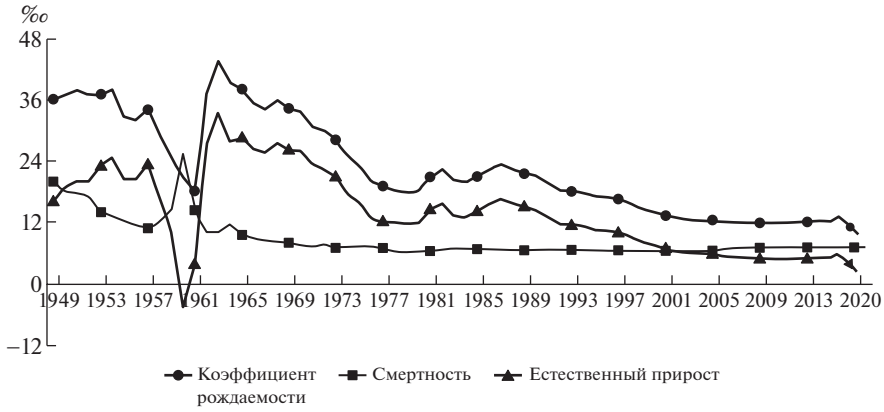


Рис. 2. Показатели рождаемости, смертности и естественного прироста населения КНР в 1949–2020 гг., ‰
Источник: Национальное бюро статистики КНР. http://www.stats.gov.cn (дата обращения 10.06.2021).

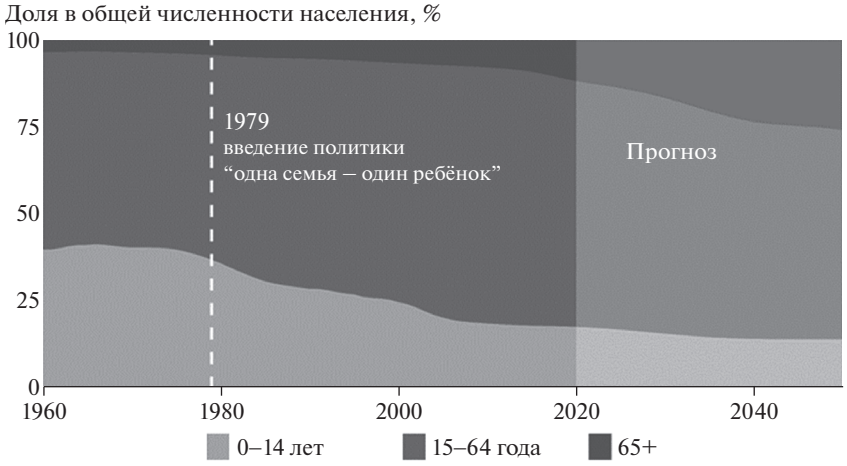


Рис. 3. Динамика долей населения по возрастным группам КНР в 1960–2020 гг. и прогноз до 2050 г., %
Источник: Всемирный банк. https://www.worldbank.org/ (дата обращения 11.06.2021).

Особенно остро проблема старения населения проявилась и усугубляется в северо-восточном, центральном и восточном Китае. Провинции Хэйлунцзян, Цзилинь и Ляонин на северо-востоке входят в тройку лидеров по показателям старения и сокращения населения. На уменьшение численности населения на северо-востоке влияют многие факторы, такие как неблагоприятная природная среда, низкий уровень рождаемости, экономическая и социальная отсталость. Сложившаяся ситуация неизбежно порождает ряд острых социально-экономических проблем.

Во-первых, снижение доли трудоспособного населения оказывает сильное влияние на конкурентные преимущества трудоёмких отраслей промышленности и сельского хозяйства Китая. Сокращение и старение сельского населения приводит к массовым отказам от ведения агропромышленной деятельности, что может серьёзно повлиять на продовольственную безопасность страны [30]. Уже наметилось снижение потребления, что влечёт за собой сокращение промышленного производства на предприятиях, а значит, и занятости. Одновременно происходит неэффективное использование общественной инфраструктуры, возникает избыток производственных мощностей, большое количество банкротств и увольнений работников, падает спрос на рабочую силу, численность которой сокращается. Китайские эксперты констатируют: “Перед нами лежит необычайно простая правда. Следующее поколение меньше по сравнению с предыдущим поколением → общая численность населения неизбежно сократится → потребление неизбежно снизится → экономика неизбежно сократится → национальная мощь неизбежно уменьшится. Китай прямо попадает в ловушку сверхнизкой рождаемости” [31].

Во-вторых, растёт пенсионная нагрузка: обеспечение по старости увеличивающегося числа пожилых людей становится тяжёлым бременем для занятого населения. За последние 30 лет коэффициент зависимости пожилого населения в

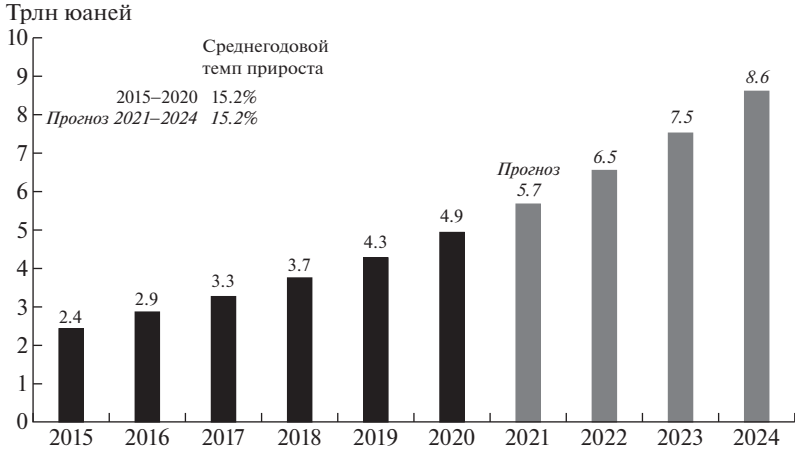


Рис. 4. Объём потребительского рынка “серебряных волос” в Китае, 2015–2019 гг. (прогноз до 2024 г.)
Источник: Обзор экономического анализа китайского рынка серебряных волос в 2020 году. http://pg.jrj.com.cn/acc/Res/CN_RES/INDUS/2020/10/23/5ab57abc-ffee-4065-bdf1-3210158e33dd.pdf (дата обращения 20.05.2021).

Китае увеличился с менее чем 9% до 17.8%, то есть на каждые 100 человек трудоспособного возраста сейчас приходится около 17.8 пенсионера [32]. По данным Национального института исследований развития Пекинского университета, если в Китае к 2050 г. не будет повышен пенсионный возраст, молодое поколение вынуждено будет тратить 41% своего дохода на поддержку пожилых людей [33].

В-третьих, серьёзной проблемой по-прежнему остаётся гендерный дисбаланс. В соответствии с традицией заботу о старшем поколении берут на себя сыновья, дочери, выходя замуж, становятся членами другой семьи. В условиях жёсткой политики ограничения рождаемости семьи отдавали предпочтение мальчикам. Общепринятой практикой стало проведение абортов в тех случаях, когда выяснялось, что женщина беременна девочкой. Результатом стала упоминавшаяся выше диспропорция полов, не говоря уже о моральном аспекте этой проблемы. С целью предотвращения подобной антигуманной практики в КНР стали вводить запреты на ультразвуковые исследования по определению пола будущего ребёнка.

Тенденция увеличения среднего возраста населения – проблема не только китайского общества. Экономически развитые страны столкнулись с ней уже давно. Но в КНР деформация возрастного состава населения произошла задолго до того, как страна приблизилась к экономическим показателям передовых стран, в силу успеха политики ограничения рождаемости. С присущим китайцам прагматизмом они склонны рассматривать демографический дисбаланс не только как вызов, но и как своего рода возможность. Стали появляться бизнес-модели, предлагающие продукты и услуги для пожилых людей, стимулирующие и изменяющие потребительский рынок. Это явление получило название “серебряная экономика”, “экономика серебряных волос” и “экономика пожилых людей”. Старение населения в Китае стало долгосрочной инвестиционной программой [34]. Предпринимателям рекомендуется сосредоточиться на инвестиционных возможностях, порождаемых стареющим обществом, включая здоровьесбережение, медицинское оборудование, пенсионное финансирование, инновационную продукцию [35], услуги, ориентированные на пожилых. Объём рынка “экономики серебряных волос” оценивается китайскими экспертами в триллионы юаней (рис. 4).

Руководство КНР оказывает всемерную поддержку индустрии, рассчитанной на пожилых людей: издан ряд указов в этой области, разрабатывается и внедряется соответствующая политика [36], более полновесной становится система пенсионного обеспечения, которая поддерживает развитие серебряной экономики. По мнению экспертов, “с точки зрения глобального ответа на старение населения решающим фактором станет технологический прогресс” [37]. Новый виток технологической революции и промышленной трансформации набирает силу, диверсифицируя и совершенствуя услуги по уходу за пожилыми людьми, развивая технологические инновации в области старения: мобильный интернет, большие базы данных, искусственный интеллект, медицинские датчики и т.д. в сочетании с концепциями “здорового старения” и “активного старения”.

ТРУДОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КНР

В стратегическом плане “Сделано в Китае на 2025 год” интеллектуальное производство заявлено как главный приоритет “для преодоления вы-

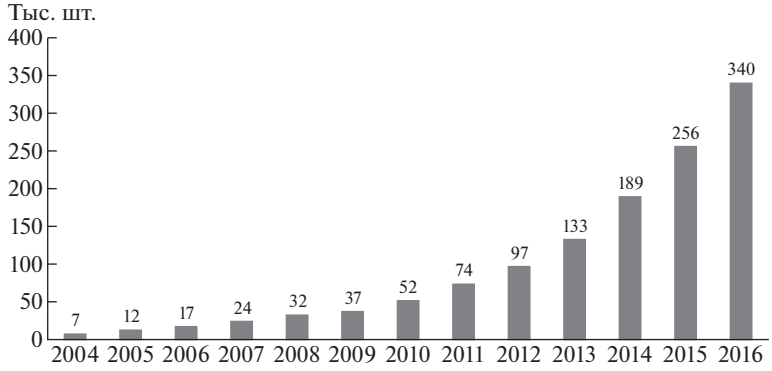


Рис. 5. Парк промышленных роботов в КНР, тыс. штук

Источник: China has rapidly become a global leader in automation. https://ifr.org/news/robots-china-breaks-historic-records-in-automation/ (дата обращения 21.05.2021).

зовов растущей международной конкуренции и замедления темпов роста внутренней экономики" [38]. Предвосхищая трудности в связи со старением населения, Китай развивает современные технологии [39], которые обеспечат ему экономический рост при сокращающейся численности трудоспособного населения по примеру наиболее экономически развитых стран, где уже складывается новая система производительных сил, в которой потребности в рабочей силе намного ниже, чем при индустриальном типе производства [40]. Новые технологии не только экономят рабочую силу, они в ряде случаев, как например в современной электронике, незаменимы. Аналогичные тенденции наблюдаются и в других сферах экономики. Они включают дальнейшую механизацию сельского хозяйства, применение крупных комплексов по перевалке больших объёмов породы в добывающей промышленности, автомобили без водителей, автоматизированные склады, автоматизированные порты, использование роботов в сфере услуг и т.п. Это общемировая тенденция и, чтобы успешно конкурировать на мировом рынке с фирмами развитых стран, Китай уже использует современные технологии и новейшие материалы.

Вытеснение человеческого труда из сферы материального производства затрагивает все отрасли хозяйства [41], но в этом комплексе технологий особое место занимает робототехника, особенно промышленные роботы (рис. 5). С 2013 г. КНР является крупнейшим в мире рынком промышленных роботов, на долю которого в 2017–2018 гг. приходилось 38% мирового объёма роботизации. Согласно данным Международной федерации робототехники (IFR), в 2019 г. на заводах по всей стране было установлено 140.5 тыс. роботизированных устройств, что на 9% меньше, чем в 2018 г. [42], но превышает общее количество роботов, установленных в Европе и Америке.

Китай быстро выдвигается в число мировых лидеров по автоматизации производства [43]. Электротехническая, электронная промышленность и автопром – основные потребители роботов, около трети которых сделаны в самом Китае [44], а остальные импортируются из Японии, Республики Корея, европейских стран и США. Местные производители наращивают поставки в 2 раза более высокими темпами, чем зарубежные. На КНР приходится четверть мировых продаж промышленных роботов для автопрома [45]. Помимо указанных отраслей, другие производства также активизируют установку роботов и иной трудосберегающей техники для наращивания производства на растущем китайском рынке. Трансформации, происходящие на фоне COVID-19, дополнительно стимулируют этот процесс [46].

Китай вкладывает значительные средства в развитие современных трудосберегающих технологий в сфере услуг, общественном транспорте и питании, гостиничном бизнесе, клининге, медтехнике, в использование сервисных роботов для обслуживания пожилых людей, домашних работ, экспресс-доставки и т.д. Особое место в условиях старения населения занимают медицинские услуги, в том числе дистанционная медицина, разработка которой ведётся через фирму WeDoctor. Эта компания предоставляет услуги по поддержке здравоохранения более чем 2.7 тыс. больницам, 240 тыс. врачам и 160 млн пользователей электронной платформы этой фирмы в Китае [47]. Другое направление внедрения новых технологий в здравоохранение в КНР – персонификация медицинских услуг через электронные сервисы с предоставлением качественной медицинской помощи через удалённый доступ [48].

Вступление в ВТО в 2001 г. ограничило и ослабило влияние централизованного планирования на экономику, но оно всё ещё велико. Очевидно, что ориентация на внедрение современных трудосберегающих технологий в КНР вызвана не игрой рыночных сил, а решением на государственном уровне [49] делать ставку на усиление между-

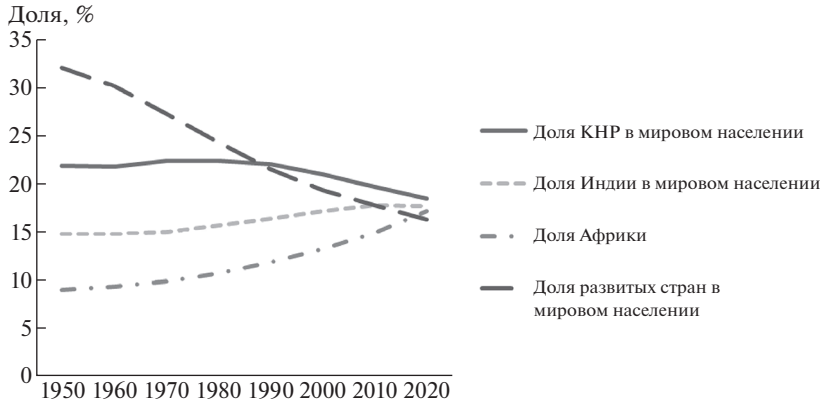


Рис. 6. Доля КНР, Индии, Африки и развитых стран в мировом населении в 1950–2020 гг.
Источник: построено авторами по данным прогноза ООН World Population Prospects 2019. File POP/1-1: Total population (both sexes combined) by region, subregion and country, annually for 1950–2100 (thousands). Estimates, 1950–2020. https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/ (дата обращения 20.05.2021).

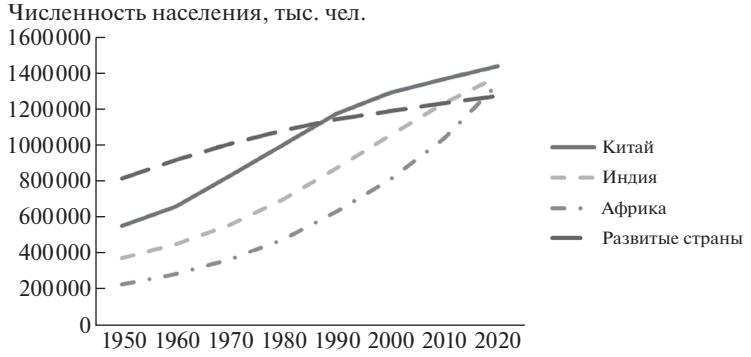


Рис. 7. Динамика численности населения КНР, Индии и развитых стран в 1950–2020 гг.
Источник: составлено авторами по World Population Prospects 2019. File POP/1-1: Total population (both sexes combined) by region, subregion and country, annually for 1950–2100 (thousands). Estimates, 1950–2020. https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/ (дата обращения 20.05.2021).

народной конкурентоспособности, даже с учётом риска роста безработицы. Автоматизация, интеллект и оцифровка производственного процесса стали ведущим направлением модернизации китайской обрабатывающей промышленности. Правительство энергично продвигает исследования и разработки в робототехнической отрасли.

Ожидается, что искусственный интеллект и связанные с ним технологии заменят около 26% существующих рабочих мест в Китае в течение 20 лет. Но в то же время новые технологии способны создать около 90 млн новых рабочих мест, повысив при этом производительность и уровень реальных доходов [46].

КИТАЙ В МИРОВОМ НАСЕЛЕНИИ

В настоящее время можно выделить четыре крупные страны и группы стран на Земле с численностью населения порядка одного миллиарда человек. В сумме они составляют около 70% мирового населения. Это Китай, Индия, развитые страны и страны Африки. Китай был и пока является самой крупной по численности населения страной, но эта ситуация не остаётся неизменной (рис. 6). Если с 1950 до 1970 г. его доля в мировом населении росла, а в период до 1980 г. стабилизировалась, в последние десятилетия она устойчиво снижается. Это говорит об эффективности проводившейся в течение ряда лет политики ограничения рождаемости, завершении демографического перехода от высокой рождаемости и смертности к низкой, об успехе политики индустриализации, модернизации и урбанизации.

Успех КНР не был предопределён. Пример Индии показывает, что медленное социально-экономическое развитие в сочетании с мягкой демографической политикой по сокращению рождаемости ведёт к росту населения и сохранению экономической отсталости. А в странах Африки на фоне практического отсутствия политики регулирования рождаемости и экономического от-

Таблица 2. Основные показатели воспроизводства населения КНР в сравнении с группами стран по уровню доходов в 2015–2020 гг.

	Суммарный коэффициент рождаемости	Средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни
Высокие доходы	1.67	80.9
Средние доходы	2.35	71.4
Низкие доходы	4.52	63.4
КНР	1.69	76.6

Источники: составлено авторами на основе данных: World Population Prospects 2019. File MORT/7-1: Life expectancy at birth (both sexes combined) by region, subregion and country, 1950–2100 (years). Estimates, 1950–2020. https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Mortality/

World Population Prospects 2019. File FERT/4: Total fertility by region, subregion and country, 1950-2100 (live births per woman). Estimates, 1950 – 2020. https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Fertility/

ставания наблюдается взрывной рост населения и расширение бедности. Численность жителей развитых стран растёт медленно, а в ряде европейских государств даже уменьшается; в результате доля развитых стран в мировом населении снижается (рис. 7). Динамика численности населения КНР по характеру изменений приближается в последние годы к той, что наблюдается в развитых странах. Это стремление к стабилизации в отличие от роста в Индии и особенно Африке.

Важно подчеркнуть, что Китай уже перестал быть мировой демографической проблемой, смысл которой в быстром росте населения на фоне конечных природных ресурсов планеты [50, 51]. Восточный гигант показал успешный пример быстрой с точки зрения исторических сроков трансформации крупной отсталой страны с громадным населением в категорию развитых стран со стабильным народонаселением и передовым производственным потенциалом [52].

Седьмая перепись населения КНР позволила выявить и подтвердить основные тенденции в демографическом развитии страны. Население становится старше, но его качественные характеристики улучшаются (табл. 2): растёт средняя продолжительность жизни, увеличивается доля людей с высшим и средним специальным образованием, поддерживая экономический рост при сокращении численности рабочей силы. Демографические дивиденды, отчасти благодаря которым Китай занял лидерские позиции в мировой экономике, постепенно нивелируются за счёт старения населения, огромной экологической нагрузки и проблем с распределением ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jiěshì zhōngguó rénkǒu zhèngcè de lìshǐ fēnqí: Zhèngzhì jīngyīng lǐniàn zhuǎnxíng de shìjiǎo [Объяснение исторических этапов демографической политики Китая: перспективы трансформации политической элиты] https://www.cuhk.edu.hk/ics/21c/media/articles/c152-201504021.pdf (дата обращения 03.06.2021).
2. Zhōnghuá rénmín gònghéguó tǒngjì fǎ [Закон о статистике Китайской Народной Республики] http://www.stats.gov.cn/zjtj/tjfg/tjfl/200906/t20090629_8791.html (дата обращения 03.06.2021).
3. Quánguó rénkǒu pǔchá tiáolì [Положение о национальной переписи]. https://baike.baidu.com/item/Quánguórénkǒupǔchátiáolì/2857998 (дата обращения 03.06.2021).
4. Dì qī cì quánguó rénkǒu pǔchá gōngbào (dì èr hào) [Коммюнике седьмой национальной переписи населения (№ 2)] http://www.stats.gov.cn/ztjc/zdtjgz/zgrkpc/dqcrkpc /ggl/202105/t20210519_1817695.html (дата обращения 03.06.2021).
5. Pǔchá jiědú [Интерпретация переписи]. https://baike.baidu.com/item/Pǔchá jiědú/23542107#reference-[7]-24064499-wrap]-24064499-wrap (дата обращения 03.06.2021).
6. Xí Jìnpíng: Qièshí zuò hǎo dì qī cì quánguó rénkǒu pǔchá gōngzuò wèi gāo zhìliàng fāzhǎn tígōng zhǔnquè tǒngjì xìnxī zhīchí [Си Цзиньпин: Проделайте хорошую работу в седьмой национальной переписи населения и предоставьте точную статистическую информацию для поддержки качественного развития]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-11/02/c_1126688814.htm (дата обращения 05.06.2021).
7. Dì qī cì quánguó rénkǒu pǔchá zhǔyào shùjù qíngkuàng [Основные данные седьмой всекитайской переписи населения]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202105/t20210510_1817176.html (дата обращения 06.06.2021).
8. Guójiā tǒngjì jú dá měi jīng wèn: Dì qī cì quánguó rénkǒu pǔchá jiāng dàliàng zēngjiā pǔchá gōngbào, fābù gèng duō gèng xì xìnxī [Национальное бюро статистики отвечает на все вопросы: седьмая национальная перепись добавит большое количество бюллетеней переписи и предоставит всё более и более подробную информацию]. http://www.nbd.com.cn/articles/2021-04-16/1702249.html (дата обращения 07.06.2021).

9. Pǔchá jiéguǒ chí chí bùjiàn zhōngguó rénkǒu shì zēng shì jiǎn? [Результаты переписи задерживаются. Растёт или сокращается население Китая?]. https://www.dw.com/zh/Pǔcházhíbùjiànzhōngguórénkǒushìzēngshìjiǎn/a-57375898 (дата обращения 03.06.2021).
10. World Population Review. India Population 2021 (Live). https://worldpopulationreview. com/countries/india-population (дата обращения 08.06.2021).
11. China Says It's Beating Coronavirus. But Can We Believe Its Numbers? https://time.com/5813628/china-coronavirus-statistics-wuhan/ (дата обращения 09.06.2021).
12. *Gan N.* True toll of Wuhan infections may be nearly 10 times official number, Chinese researchers say. https://www.ctvnews.ca/health/coronavirus/true-toll-of-wuhan-infections-may-be-nearly-10-times-official-number-chinese-researchers-say-1.5247063 (дата обращения 10.06.2021).
13. China set to report first population decline in five decades. https://www.ft.com/content/008ea78a-8bc1-4954-b283-700608d3dc6c (дата обращения 11.06.2021).
14. Kāizhǎn dì qī cì quánguó rénkǒu pǔchá yǒu shé me zhòngdà yìyì?. Guójiā tǒngjì jú [В чём значение седьмой национальной переписи населения? Национальное статистическое агентство]. http://www.stats.gov.cn/ztjc/zdtjgz/zgrkpc/dqcrkpc/dqcrkpcrpzs/202005/t20200507_1743555.html (дата обращения 12.06.2021).
15. Rénkǒu pǔchá jiāng nàrù chá fáng huò wèi zhēngshōu fángdìchǎn shuì tígōng shùjù zhīchēng [Перепись будет включена в обход домов или обеспечит поддержку данных для сбора налогов на недвижимость]. https://finance.sina.com.cn/china/gncj/2019-06-04/doc-ihvhiews6631747.shtml (дата обращения 14.06.2021).
16. Yi Fuxian. China's population numbers are almost certainly inflated to hide the harmful legacy of its family planning policy. https://www.scmp.com/comment/opinion/article/3018829/chinas-population-numbers-are-almost-certainly-inflated-hide (дата обращения 15.06.2021).
17. Zhōnggòng zhōngyāng zhèngzhì jú zhàokāi huìyì xíjìnpíng zhǔchí [В Политбюро ЦК КПК прошло заседание, устроенное Си Цзиньпином]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2021-05/31/c_1127513015.htm (дата обращения 16.06.2021).
18. Yǔnxǔ "sān hái": Zhōngguó rénkǒu zhèngcè zài fàng kāi [Разрешение троих детей: возобновление политики Китая в области народонаселения]. https://www.dw.com/zh/Yǔnxǔsānháizhōngguórénkǒuzhèngcèzàifàngkāi/a-57728741 (дата обращения 03.06.2021).
19. Opinion: Why do we keep treating China as a source of reliable information? https://www.washingtonpost.com/opinions/2020/04/07/why-do-we-keep-treating-china-source-reliable-information/ (дата обращения 04.06.2021).
20. 2010 Nián dì liù cì quánguó rénkǒu pǔchá zhǔyào shùjù gōngbào (dì 1 hào). Guójiā tǒngjì jú [Коммюнике по основным данным Шестой национальной переписи населения 2010 г. (№ 1). Национальное бюро статистики]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/qgrkpcgb/201104/t20110428_30327.html (дата обращения 06.06.2021).
21. Developing or Developed? Assessing Chinese Life Expectancy. https://chinapower.csis.org/life-expectancy/ (дата обращения 03.06.2021).
22. Cause-specific mortality for 240 causes in China during 1990–2013: a systematic subnational analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(15)00551-6/fulltext (дата обращения 08.06.2021).
23. Wǒguó rénkǒu fāzhǎn chéngxiàn xīn tèdiǎn yǔ xīn qūshì [Демографическое развитие нашей страны представляет новые характеристики и новые тенденции]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/sjjd/202105/t20210513_1817394.html (дата обращения 11.06.2021).
24. Guówùyuàn dì qī cì quánguó rénkǒu pǔchá lǐngdǎo xiǎozǔ bàngōngshì fùzé rén jiēshòu zhōng xīn shè zhuānfǎng [Глава Управления седьмой национальной переписи Госсовета даёт эксклюзивное интервью Службе новостей Китая]. http://www.stats.gov.cn/ztjc/zdtjgz/zgrkpc/dqcrkpc/ggl/202105/t20210519_1817705.html (дата обращения 07.06.2021).
25. *Chan K.W., Li Z.* The Hukou System and Rural-Urban Migration in China: Processes and Changes. Published online by Cambridge University Press: 12 February 2009. https://www.cambridge.org/core/journals/china-quarterly/article/abs/hukou-system-and-rural-urban-migration-in-china-processes-and-changes/64180F68ABC54EDF 984DEB31EFFE7A64 (дата обращения 09.06.2021).
26. *Веремейчик А.С.* Демографическое развитие Северо-Восточного Китая (1949–2010 гг.) // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2011. № 4(19). С. 46–52.
27. Zhōnghuá rénmín gònghéguó 2019 nián guómín jīngjì hé shèhuì fāzhǎn tǒngjì gōngbào [Статистическое коммюнике Китайской Народной Республики о национальном экономическом и социальном развитии за 2019 год]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202002/t20200228_1728913.html (дата обращения 10.06.2021).
28. Zhōnghuá rénmín gònghéguó guójiā wèishēng jiànkāng wěiyuánhuì [Национальная комиссия здравоохранения Китайской Народной Республики]. http://www.nhc.gov.cn/ (дата обращения 03.06.2021).
29. *Zhāng Cuìlíng, Lǐ Yuè, Yáng Wénzhuāng, Zhāng Xǔyǐng.* Xīnguān fèiyán yìqíng duì zhōngguó chūshēng rénkǒu biàndòng de yǐngxiǎng. Rénkǒu yánjiū, 2021 [*Чжан Цуйлин, Ли Юэ, Ян Вэньчжуан, Чжан Сюин.* Влияние новой эпидемии коронарной пневмонии на изменения в рождаемости в Китае // Жэнькоу яньцзю. 2021. № 33. P. 88–96. http://rkyj.ruc.edu.cn/CN/ (дата обращения 03.06.2021).
30. Zhōngguó píngjūn měitiān xiāoshī 20 gè xíngzhèng cūn [В среднем каждый день в Китае исчезают 20 административных деревень]. https://www.yicai.com/news/1167113.html (дата обращения 05.06.2021).
31. Diē rù "dī shēngyù lǜ xiànjǐng"? Quánwēi zhuānjiā huíyīng [Попасться в ловушку низкой рождаемости? Авторитетный ответ эксперта].

https://finance.sina.com.cn/china/2021-05-17/doc-ikmxzfmm2975224.shtml?cre=tianyi&mod=pcpager_news&loc=40&r=0&rfunc=17&tj=cxvertical_pc_pager_news&tr=174 (дата обращения 06.06.2021).

32. Shù dú gǔn 6 gè niánqīng rén yǎng 1 gè lǎorén,5 nián hòu zhōngguó yǒu 3 yì lǎorénguò chóngyáng ji [Подсчёт. 6 молодых людей поддерживают 1 старика. Через 5 лет 300 миллионов пожилых людей в Китае будут отмечать фестиваль двойной девятки]. https://m.21jingji.com/article/20201025/herald/5a79d2a0aef4b10d4f18404304b0d75a.html (дата обращения 08.06.2021).
33. Běidà xuézhě: Yánchí tuìxiū kě jiàngdī niánqīng yīdài de fùdān [Учёные Пекинского университета: отсрочка выхода на пенсию может снизить нагрузку на молодое поколение]. https://m.yicai.com/news/3754708.html (дата обращения 10.06.2021).
34. Yínfà jīngjì yíng lái huángjīn fǎ zhǎn qí: Guānzhù liù dà hángyè chángqí tóuzī jīhuì [Серебряная экономика открыла золотой период развития: фокус на долгосрочных инвестиционных возможностях в шести основных отраслях]. https://finance.sina.com.cn/stock/hyyj/2021-05-13/doc-ikmyaawc4988406.shtml (дата обращения 12.06.2021).
35. Xiǎo bàogào. Yánjiūle 20 wàn jiā qì yè hòu, wǒmen zhǎodàole yínfà jīngjì wàn yì guīmó de zēngzhǎng mì [Небольшой отчёт. Изучив 200000 компаний, мы обнаружили секрет триллионного роста серебряной экономики]. https://www.cn-healthcare.com/article/20200806/content-540551.html (дата обращения 14.06.2021).
36. 2020 Nián zhōngguó yínfà jīngjì hángyè shìchǎng guīmó jí wèilái hángyè fāzhǎn qūshì fēnxī yùcè [tú] [Масштаб рынка экономики Китая для экономики серебряных волос, анализ и прогноз будущих тенденций развития отрасли на 2020 год]. https://www.chyxx.com/industry/202001/829504.html (дата обращения 06.06.2021).
37. Fāhuī kējì jīnbù zài yìngduì rénkǒu lǎolíng huà zhōng de juédìngxìng zuòyòng [В полной мере проявите решающую роль технического прогресса в борьбе со старением населения]. https://theory.gmw.cn/2019-05/31/content_32882962.htm (дата обращения 07.06.2021).
38. Guówùyuàn guānyú yìnfā “zhōngguó zhìzào 2025” de tōngzhī [Уведомление Государственного совета по печати и распространению “Сделано в Китае – 2025”. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm (дата обращения 20.06.2021).
39. China speeds up planning future industries for high-quality growth. http://www.ecns.cn/news/economy/2021-02-22/detail-ihahvyux8632784.shtml (дата обращения 02.06.2021)
40. *Abeliansky A., Prettner K.* Working paper automation and demographic change. https://www.econstor.eu/bitstream/10419/157381/1/885256824.pdf (дата обращения 03.06.2021).
41. Новая система производительных сил и страны Востока (Коллективная монография) / Отв. ред. А.В. Акимов, С.А. Панарин, науч. ред. И.В. Дерюгина, Н.Н. Цветкова. М.: ИВ РАН, 2019. 39%! Jīqìrén guóchǎn huà wèi dá “zhōngguó zhìzào 2025” mùbiāo h39%! [39%! Локализация роботов не достигла цели “Сделано в Китае – 2025”]. https://www.gg-robot.com/art-70528.html (дата обращения 03.06.2021).
42. Réngōng zhìnéng hé xiāngguān jìshù duì zhōngguó jiùyè de jìng yǐngxiǎng. [Чистое влияние искусственного интеллекта и связанных с ним технологий на занятость в Китае]. https://www.pwccn.com/zh/consulting/publications/net-impact-of-ai-technologies-on-jobs-in-china.pdf (дата обращения 02.06.2021).
43. The Robotics Industry in China. https://www.china-briefing.com/news/chinas-robot-industry/ (дата обращения 21.05.2021).
44. China has rapidly become a global leader in automation. https://ifr.org/news/robots-china-breaks-historic-records-in-automation/ (дата обращения 21.05.2021).
45. Zhōngguó kàng yì jiēduàn shènglì hòu, wèishéme jīqì huàn rén de zhìnéng zhìzào chéngwéi zhǔyào qūshì [Почему после победы Китая в противоэпидемической фазе интеллектуальное производство машин-заменителей стало основной тенденцией]. http://smkj.sm.gov.cn/kjxx_22745/gyjqryycy/202101/t20210122_1623740.htm (дата обращения 02.06.2021).
46. The Future E-commerce Healthcare in China. https://marketingtochina.com/WEDOCTOR-THE-FUTURE-ECOMMERCE-HEALTHCARE-IN-CHINA/ (дата обращения 13.04.2021).
47. Китай выходит в лидеры в области искусственного интеллекта в здравоохранении. https://evercare.ru/kitai-vykhodit-v-lidery-v-oblasti-iskusstvennogo-i (дата обращения 13.04.2021).
48. Shísān jiè quánguó réndà sì cì huìyì jǔxíng bìmù huì xíjìnpíng děng dǎng hé guójiā língdǎo rén chūxí. [Четвёртая сессия Всекитайского собрания народных представителей тринадцатого созыва провела заключительное заседание, на котором присутствовали Си Цзиньпин, лидеры партии и государства]. http://www.scio.gov.cn/index.htm (дата обращения 02.06.2021).
49. *Медоуз Д.Х., Рандерс Й., Медоуз Д.Л.* Пределы роста: 30 лет спустя / Пер. с англ. Е.С. Оганесян. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012.
50. Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики / Отв. ред. А.А. Акаев, А.В. Каратаев, Г.Г. Малинецкий. М.: Издательство ЛКИ, 2010.
51. *Акимов А.В.* Обрабатывающая промышленность стран Востока в мировых показателях: статистический очерк // Экономист. 2018. № 4. С. 10–20.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1157–1169

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

ВТОРОЕ АКАДЕМИЧЕСКОЕ СОБРАНИЕ СОЧИНЕНИЙ Ф.М. ДОСТОЕВСКОГО В ПУШКИНСКОМ ДОМЕ
К 200-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПИСАТЕЛЯ

© 2021 г. В. Е. Багно[a],*, Н. А. Тарасова[a],**

[a] *Институт русской литературы (Пушкинский Дом) РАН, Санкт-Петербург, Россия*

**E-mail: vsbagno@gmail.com*

*** E-mail: nsova74@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.04.2021 г.
После доработки 06.05.2021 г.
Принята к публикации 28.06.2021 г.

В статье дан обзор исследовательской работы над вторым академическим Полным собранием сочинений и писем Ф.М. Достоевского в 35 томах, издаваемым Пушкинским Домом. Представлена общая характеристика издания, его связь с предшествующими и современными научными изданиями текстов писателя, а также результаты источниковедческой, комментаторской, текстологической работы.

Ключевые слова: Ф.М. Достоевский, Полное собрание сочинений, проблемы эдиции, текстология, история текста, творческая история произведения.

DOI: 10.31857/S0869587321120045

Вступая в третье столетие со дня рождения Фёдора Михайловича Достоевского (1821–1881), мы понимаем, что романы великого русского писателя, прочитанные в переводе на любой из языков мира, являются языком межнационального общения, который понимают и на котором говорят сегодня сотни миллионов людей на земле. Мир покоряют не страны и не идеи, не народы и не их языки, а языки культур. Недавно нам об этом напомнил Дато Маградзе, один из самых известных современных поэтов Грузии: “Достоевский будет актуален в каждую эпоху, поскольку вечность переводится на язык любой из них. Думаю, язык вечности является международным языком гораздо в большей степени, чем английский”[1].

Институт русской литературы (Пушкинский Дом) РАН вносит свой вклад в празднование юбилея Достоевского, главным образом начатой в 2013 г. работой по подготовке второго исправленного и дополненного академического Полного собрания сочинений и писем писателя в 35 томах (главный редактор В.Е. Багно, заведующий Группой по изучению творчества Ф.М. Достоевского в 2009–2019 гг. В.Д. Рак, с 2019 г. – Н.А. Тарасова). Под исправленным и дополненным понимается издание, в которое вносят изменения в максимально необходимом объёме в тех случаях, когда при воспроизведении текстов Достоевского или составлении комментариев были допущены *неточности*, а также выявлена их *неполнота*. Во второе собрание включаются – с распределением по томам – все обнаруженные после выхода соответствующих томов или завершения первого собрания сочинений творческие и иные тексты писателя, рукописные и печатные, в том числе дубиальные, атрибутируемые с достаточно высокой степенью вероятности.

В 35-томное собрание включён выполненный Достоевским перевод романа О. де Бальзака “Евгения Гранде”, который стал для него литературной школой, сформировавшей его собственную писательскую манеру. Читая роман и сопоставляя русскую версию с французским оригиналом, мы можем заглянуть в творческую лабораторию

[1] Участниками проекта “Проблемы рецепции личности и творчества Достоевского в мировой культуре: история и современность”, выполняемого в Пушкинском Доме при поддержке РФФИ, создана рабочая версия интернет-портала “Достоевский и мир” (www.dostomundus.ru). По нашей просьбе своим мнением о значении русского писателя для современного мира поделились известные зарубежные деятели культуры: писатели, философы, режиссёры, актёры, художники, музыканты. Цитируемый текст Дато Маградзе можно найти на этом сайте в разделе “Анкета”.

БАГНО Всеволод Евгеньевич – член-корреспондент РАН, научный руководитель ИРЛИ РАН. ТАРАСОВА Наталья Александровна – доктор филологических наук, ведущий научный сотрудник ИРЛИ РАН.

Ф.М. Достоевский. Фотография В.Я. Лауффферта. 1872 г.

Фёдора Михайловича и понять, как, пытаясь воссоздать роман Бальзака на русском языке, он формировался как писатель.

Приведём в виде иллюстрации лишь один пример, имеющий отношение к характерным особенностям языка и стиля Достоевского: два фрагмента из перевода “Евгении Гранде”, опубликованного в 1844 г., и один – из романа “Бедные люди”, изданного в 1846 г.

“А! она очнулась, мама, мамаша-мам-мамаша! ну же, ну, душечка, посмотри, вот я обнимаю Евгению, мою дочку, мою милую дочечку; плутовочка любит красавчика Шарля; пусть любит, пусть любит...” [1, т. 1, с. 444].

“– Бедняжечка! – сказал старик, – о, если бы ты знала, как я люблю тебя, и тебя тоже, дочечка, голубушка, красавица, дочечка. <...> – А! как сладко обнять свою дочь, после примирения! дочечка, милочка! Посмотри-ка, мамаша, мы теперь заодно, мы заодно, Евгения; мы с тобой, как рыба с водой, – ангельчик Евгения” [1, т. 1, с. 445].

“Ангельчик мой, Варвара Алексеевна!

Спешу вам сообщить, жизнёночек вы мой, что у меня надежды родились кое-какие. Да позвольте, дочечка вы моя, — пишете, ангельчик, чтоб мне займов не делать? Голубчик вы мой, невозможно без них; уж и мне-то худо, да и с вами-то, чего доброго, что-нибудь вдруг да не так! ведь вы слабенькие...” [1, т. 1, с. 86].

В.С. Нечаева отмечала, что, хотя “почти каждую фразу Достоевский начинает по Бальзаку <...>, в его переложении она усложняется, обрастает новыми образами, новыми признаками образов, и бальзаковский текст тонет в плоти, которой одевает его Достоевский” [2, с. 115].

Рукописные редакции романа “Подросток” и комментарии к нему (первое ПСС, т. 16, 17), оказавшиеся вследствие цензурного вмешательства оторванными от основного текста произведения (т. 13), за которым следовали два тома “Братьев Карамазовых” (т. 14, 15) [подробно об этом см.: 3, с. 231, 232], во втором собрании сочинений возвращаются на полагающееся им место (т. 14, 15) с соответствующим перемещением “Братьев Карамазовых” (т. 16, 17).

Второе собрание сочинений дополняется томом рисунков Достоевского на его рукописях. Современники писателя не подозревали, что он рисовал в процессе обдумывания и создания своих произведений, что его рукописи буквально испещрены рисунками: портретами, архитектурными эскизами, каллиграфически выписанными словами. Огромную роль, наряду с портретами и каллиграфией, в творческой лаборатории Достоевского играла “готика”, фантазии русского писателя на тему окна или стрельчатой арки готического собора. Знаменательно, что особенно много “готики” в подготовительных материалах к его поздним романам “Преступление и наказание”, “Идиот”, “Бесы” и “Подросток”.

“Готические” фантазии в черновых рукописях Достоевского – одна из загадок творческой лаборатории писателя. Взяв за основу стрельчатую арку готического собора, Фёдор Михайлович создал бесчисленные версии “готических” окон, ни разу не повторившихся, при этом восходящих к одному и тому же инварианту. Трудно удержаться от соблазна увидеть в этих не всегда убедительных попытках архитектурного синтеза готического окна и луковки православного храма отголоски историософских взглядов русского писателя и мыслителя, его надежд на то, что России благодаря её “всеотзывчивости” предначертано спасти европейскую цивилизацию.

На сегодняшний день из печати вышло 9 томов (СПб.: Наука, 2013–2020), включающих раннее творчество писателя до- и послекаторжного периода, а также первые романы “великого пятикнижия” – “Преступление и наказание” (1866) и “Идиот” (1868) – и подготовительные материалы к ним. Сейчас идёт подготовка к публикации печатного текста и рукописей романа “Бесы”, в планах – более поздние и не менее известные

Ф.М. Достоевский. Подготовительные материалы к роману “Бесы”. Страница записной тетради с набросками архитектурных деталей в готическом стиле

произведения писателя – романы “Подросток” и “Братья Карамазовы”, а также публицистика, письма и многое другое.

В основу издания положено Полное собрание сочинений Ф.М. Достоевского под редакцией академика Г.М. Фридлендера (Л.: Наука, 1972–1990) – фундаментальный труд, базовый для специалистов по творчеству Достоевского [4, с. 91, 92]. Многие материалы, напечатанные в первом академическом собрании, сохраняют свою источниковедческую ценность по сей день, несомненны общий высокий уровень подготовки комментариев и усилия составителей по сохранению текста от воздействия идеологической цензуры советского времени.

Вместе с тем с момента завершения издания Г.М. Фридлендера прошло 30 лет, за это время исследователи Достоевского сделали огромный рывок в изучении творчества писателя, появились другие научные издания его текстов [5–7], получили обоснование новые методики текстологической работы на обширном материале русской и мировой классики [8–12 и др.], разработаны методы применения новейших информационных технологий при исследовании и публикации текстов [см.: 13], проведён архивный по-

иск, в результате которого многие факты биографии великого романиста и творческой истории его произведений были уточнены [см.: 14–20 и мн. др.], представители русской и мировой культуры продолжают интересоваться темой “Рецепция личности и творчества Ф.М. Достоевского” [21–31 и мн. др.]. Эти условия определяют необходимость и значение второго Полного собрания сочинений, где наиболее полно отразились бы достижения современной текстологической науки и результаты изучения художественного наследия писателя.

Начиная с первого тома нового собрания сочинений, где напечатан перевод Достоевским романа Оноре де Бальзака “Евгения Гранде”, впервые опубликованный в 1844 г. и переизданный позднее [см.: 1, т. 1, с. 324–466, 781–794], но не вошедший в первое академическое издание, в задачи составителей входят текстологический анализ и дополнение корпуса текстов, принадлежащих писателю, уточнение их истории, подготовка обновлённого комментария к ним.

С появлением новых томов, увеличением объёма и содержательной сложности исследовательской работы текстологическая концепция собрания сочинений также уточняется, получая более полное и аргументированное обоснование в преамбулах. Уже в первом томе в редакционной вступительной статье сообщается о том, что тексты публикуются “с сохранением наиболее важных особенностей, свойственных писателю и его эпохе”, при этом «понятию “важные особенности орфографии и пунктуации” придается <...> более расширенный по сравнению с *Акад. ПСС* смысл, вследствие чего тексты могут быть освобождены от цензурного насилия, корректорского ригоризма и ошибок чтения и понимания и во всех признанных необходимыми случаях возвращены написания и знаки препинания источника» [1, т. 1, с. 19, 20]. Эта методологическая установка сохраняет своё значение и обосновывается в текстологических преамбулах к недавно вышедшему – девятому – тому собрания сочинений, который содержит рукописные материалы к роману “Идиот”, рассказу “Вечный муж” и неосуществлённым замыслам Достоевского конца 1860 – начала 1870-х годов, а также дополненные комментарии к этим произведениям.

Приведём примеры текстологической работы по установлению основного текста романа “Идиот”, результаты которой отражены в восьмом томе нового собрания. Роман публиковался при жизни автора дважды – в журнале “Русский вестник” за 1868 г. и отдельно, книжным изданием, в 1874 г. Как известно, в нём особое значение имеют пушкинские образы и мотивы. При их исследовании возникают и текстологические вопросы. Поясним причины, по которым правильнее было бы сохранить вариант прижизненных изданий в эпизоде цитирования и толкования героями пушкинского стихотворения “Жил на свете рыцарь бедный”.

Известны следующие издательские решения этого текстологического случая.

В прижизненных изданиях встречаем следующие варианты:

А.Н.Б. (речь Аглаи):

“Правда, есть еще там какой-то темный, недоговоренный девиз, буквы А.Н.Б., которые он начертал на щите своем...”.

А.Н.Д. (попытка Коли Иволгина поправить Аглаю):

“– А.Н.Д., – поправил Коля.

– А я говорю А.Н.Б. и так хочу говорить, – с досадой перебила Аглая <...>”.

А.М.D. (из пушкинского текста, цитируемого Аглаей):

Полон чистою любовью,
Верен сладостной мечте,
А.М.D. своею кровью
Начертал он на щите.

А.Н.Д. (несобственно-прямая речь, размышления князя Мышкина):

“Что была насмешка, в том он не сомневался; он ясно это понял и имел на то причины: во время чтения Аглая позволила себе переменить буквы А.Н.Д. в буквы Н.Ф.Б.» [см. анализируемый контекст: 1, т. 8, с. 229–232].

А.Г. Достоевская исправила первопечатный текст в последнем случае (мысленная реплика князя), вероятно, посчитав, что аббревиатура А.Н.Д. содержит ошибку набора (соответственно, изменила А.Н.Д. на А.М.Д., ориентируясь на пушкинский текст и при этом используя кириллицу) [см.: 32, с. 251; 33, с. 245].

В собрании сочинений, подготовленном Б.В. Томашевским и К.И. Халабаевым, повторён вариант прижизненных изданий со следующим пояснением: “В тексте романа есть некоторое противоречие с текстом приводимого в цитате стихотворения Пушкина. В то время как в стихотворении упоминаются инициалы *А.М.D.*, в тексте они дважды цитируются *А.Н.Д.* <...>. В настоящем издании это противоречие осталось неустраненным, т. к. устранение его было бы связано с изменением инициалов, которые первоначально Аглая подставила на место пушкинских <...>” [34, с. 558].

В первом Полном собрании сочинений внесено исправление в последнем случае использования аббревиатуры – в размышлении князя Мышкина: «*Стр. 209*, *строки 41–42*: «“переменить буквы A.M.D. в буквы Н.Ф.Б.” вместо “переменить буквы A.H.D. в буквы Н.Ф.Б.” (опечатка во всех

источниках)» [35, т. 9, с. 335]. При этом неточно процитированы прижизненные издания: в них не используется латинское D в аббревиатуре А.Н.Д.

В собрании сочинений под редакцией Т.А. Касаткиной сохранён вариант прижизненных изданий и подчёркивается, что «девиз “АНД” вовсе не бессмыслен. Если “AMD” значит “Ave, Mater Dei” (“Радуйся, Матерь Божия”), то “AND” – “Ave Notre Dame” – “Радуйся, Госпожа” (французское; то же, что итальянское Madonna) – именование Богородицы, наиболее характерное как раз для эпохи рыцарства, с чем связан целый ряд смыслов романа <...>. И, очевидно, Достоевский помнил девиз (или девиз был нужен ему) именно в таком виде» [5, т. 4, с. 7; ср.: 36, с. 384].

Петрозаводское издание следует решению, предложенному А.Г. Достоевской, представляя обоснование правки текста [7, с. 718–722].

Полная расшифровка пушкинской аббревиатуры A.M.D. (Ave, Mater Dei) имеется в автографе, ещё не опубликованном в период появления романа “Идиот” [37, с. 732, 1182]. С.А. Фомичёв предположил, что «писатель обозначил (перед чтением Аглаи) стихотворение лишь первой строкой, предлагая воспроизвести при первой публикации произведения в журнале “Русский вестник” поэтический текст по одному из пушкинских изданий» [36, с. 384]. Действительно, обычной практикой в работе Достоевского над текстом (на что, в частности, указывают наборные рукописи его произведений) было цитирование стихотворений и газетных выдержек с помощью наборщиков: в таком случае в рукописи Достоевский, как правило, указывал начальную строку интересовавшего его источника, предоставляя сотруднику типографии возможность самостоятельно процитировать (набрать) необходимый текст. Судя по тому, что в прижизненных изданиях романа аббревиатура дана кириллицей и лишь в цитировании пушкинского стихотворения появляется латиница, в данном случае дело обстояло именно так: наборщик работал самостоятельно, а автор не сверял характер оформления аббревиатуры в речи своих героев и в пушкинском тексте. В результате возник разнобой и появилось неточное (вследствие авторской описки (?) или воспроизведения по памяти) А.Н.Д. вместо исходных А.М.Д. или A.M.D. (так, вариантно, выглядит аббревиатура в изданиях пушкинского стихотворения[2]). Достоевский, не сверяясь детально с источником цитаты, мог не помнить точный вид аббревиатуры и расшифровывать её по-своему.

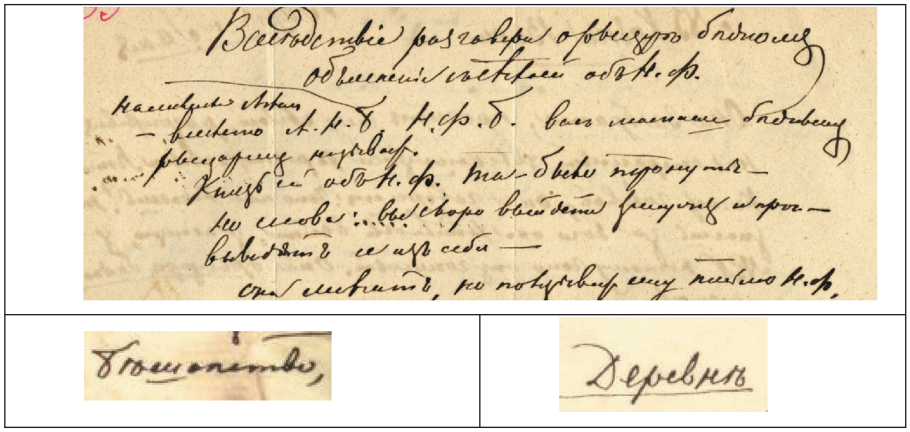
[2] Аббревиатура на латинице появляется в Собрании сочинений Пушкина, изданном в 1859–1860 гг. Я.А. Исаковым под редакцией Г.Н. Геннади [38, с. 284].

Характеристика, данная аббревиатуре Аглаей: “какой-то темный, недоговоренный девиз” – едва ли указывает на непонимание самим писателем смысла пушкинских строк. Черновой текст романа свидетельствует о том, что для Достоевского имела значение их религиозная направленность (которая очевидна и без расшифровки спорной аббревиатуры – из общего содержания стихотворения). В черновиках к “Идиоту” Аглая говорит о рыцарской любви к идеалу, “обожании чистой красоты” и приводит строку, “содержащую эмблему Богоматери” (“Да и кто жъ послѣ того можетъ быть: Lumen coeli, Sancta Rosa” (РГАЛИ. Ф. 212. 1. 7. С. 61, ср. в первом ПСС [35, т. 9, с. 263]; во втором ПСС [1, т. 9, с. 284]) [39, с. 80]. Полный текст пушкинского стихотворения мог быть известен Достоевскому, несмотря на то, что не был опубликован во времена “Идиота”: одна стихотворная строфа (“Путешествуя в Женеву / Он увидел у креста / На пути Марию Деву, / Матерь Господа Христа”) воспроизведена в статье М.Л. Михайлова “Уважение к женщинам”, вышедшей в журнале “Современник” в 1866 г. [35, т. 9, с. 403, 404]. Н. Соломина-Минихен указала, что эту строфу «Достоевский – явно по памяти и для памяти – внес позднее в записную тетрадь 1880–1881 годов, в раздел “Слова, словечки и выражения”, начатый 17 августа 1880 года» [39, с. 82; см. также: 35, т. 9, с. 403; 40, с. 158]; в автографе: “Подъезжая под Женеву, / У подножия креста / *Встретил <над строкой вариант*: Видел> он Святую деву, / Матерь Господа Христа” [35, т. 27, с. 44]. Кроме того, по предположению Г.Л. Боград, Достоевский “и до статьи Михайлова мог знать не опубликованный к тому времени вариант стихотворения Пушкина непосредственно от сестры поэта”, О.С. Павлищевой, бывшей замужем за Н.И. Павлищевым (фамилию которого получил покровитель главного героя романа “Идиот”) и в 1863 г. проживавшей в Павловске по соседству с братом писателя М.М. Достоевским [40, с. 153, 154].

Вариант, возникающий в речи Коли Иволгина и в несобственно-прямой речи князя Мышкина, а также подразумеваемый, но не использованный Аглаей (которая, произнося “девиз” как А.Н.Б. и Н.Ф.Б., перефразирует его ради иронического намёка на Настасью Филипповну), – тот, каким, возможно, его воспроизвёл в наборной рукописи сам автор: “А.Н.Д.”.

Сохранился черновой набросок к роману, в котором упоминается сокращение, но запись содержит правку, затрудняющую восприятие написанного. Текст наброска исследователи прочитывают двояко:

“Вслѣдствіе разговора о рыцарѣ бѣдномъ объясненіе съ Аглаей объ Н.Ф.



Сравнение буквенных написаний

{Насмѣшка Аглаи}[3] – вмѣсто А.Н.<Д. *или* Б.¿> Н.Ф.Б., васъ мамаша бѣднымъ рыцаремъ называетъ” (РГАЛИ. Ф. 212. 1. 7. С. 63).

В первом собрании сочинений первая аббревиатура прочитана как “А.Н.Д.” (т. 9, с. 265). В петрозаводском издании – как “А.Н.Б.” [7, т. 8, с. 720]. Последняя буква в аббревиатуре прочитывается вариантно в зависимости от того, как интерпретируется линия над буквой: как часть авторского знака, разделяющего записи (в таком случае в аббревиатуре буква “Д”), или как часть буквенного начертания (тогда в аббревиатуре “Б”). Вариант “А.Н.Д.” вызывает больше сомнений, так как в почерке писателя буква “Д” имела иное начертание, тогда как “Б” встречается на других страницах рукописей “Идиота” именно в таком графическом облике, как в данном наброске. В черновике, вероятнее всего, подразумеваются варианты, использованные Аглаей и в окончательном тексте, так как она действительно при цитировании Пушкина произносит вместо первоначально ею названного в диалоге с Колей “А.Н.Б.” более прозрачное по смыслу “Н.Ф.Б.”.

В печатном тексте в речи героев, как указано, дважды появляется вариант “А.Н.Д.”, который восходит, вероятно, к наборной рукописи. А.Г. Достоевская справедливо отметила ошибочность этого варианта по отношению к пушкинскому тексту, однако если предполагать, что у Достоевского это написание не случайно и аббревиатура могла иметь собственно авторскую расшифровку, то, руководствуясь теми же соображениями, что и в случае с “ошибками памяти” героев или автора романа [см. подробнее в текстологическом комментарии: 1, т. 9, с. 529–531], нет оснований изменять текст, тем более что такое решение нельзя подтвердить достоверным фактическим материалом из рукописных источников.

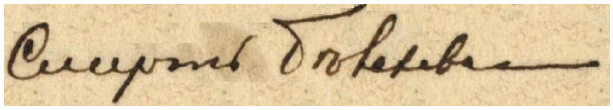
При подготовке текстов писателя к печати проводится их сплошная сверка с источниками: во-первых, специфика издательской работы такова, что без анализа частей нельзя составить представление о целом; во-вторых, без сплошной сверки невозможно было бы решать проблемы критики текста и выбора основного текста. Результаты сплошной сверки имеют значение для текстологической оценки прижизненных изданий каждого произведения. Что касается рукописей Достоевского, то новое их текстологическое исследование позволило во многих случаях исправить ошибки предшествующих научных публикаций, искажающие смысл авторского текста, уточнить ход творческого процесса автора, датирование записей, особенности их творческой истории. Кроме того, эта работа способствует обоснованию самой методики текстологического анализа рукописей Достоевского и уточнению принципов их публикации.

Приведём некоторые примеры.

Если в первых томах нового собрания сочинений были опубликованы в основном печатные тексты Достоевского и отдельные сохранившиеся рукописные фрагменты, относящиеся к раннему творчеству писателя, то начиная с седьмого тома (черновики романа “Преступление и наказание”) участники издания приступили к изучению рукописных материалов более значительного объёма. В процессе этой работы были пересмотрены как некоторые факты творческой истории публикуемых текстов[4], так и подход к их публикации. В первом

[3] При цитировании рукописного текста в фигурных скобках приводится вписанный Достоевским текст, в квадратных – вычеркнутый.

[4] Так, из состава рукописей романа “Преступление и наказание” исключены набросок “Пьяненькие” и два наброска, начинающиеся словами “Страстные и бурные порывы...”. В первом собрании сочинений они напечатаны вместе с рукописями указанного романа, во втором эти записи отнесены к неосуществлённым замыслам писателя 1864–1867 гг. – подробнее см.: [1, т. 7, с. 5, 6, 409–423].



Фрагмент черновых набросков к роману “Идиот”

Полном собрании сочинений черновые автографы (связный черновой текст) и наборные рукописи произведений писателя напечатаны как свод вариантов окончательного текста. Выбор такой формы публикации имеет свои недостатки: во-первых, читателям (тем более – исследователям) иногда приходится долго искать соответствия между печатным текстом и отдельными вариантами (особенно если варианты и основной текст напечатаны в разных томах издания); во-вторых, в самом процессе воспроизведения рукописи при такой (отрывочной, искусственно фрагментарной) подаче материала неизбежно возникают пропуски текста и ошибки чтения. Публикация чернового автографа в вариантах даёт слабое представление о первоисточнике, лишает читателей информации о расположении записей на рукописном листе, о характере записей на полях и вставок в основной текст. Поэтому во втором собрании сочинений сохранившиеся фрагменты черновых автографов романа “Преступление и наказание” было решено печатать в полнотекстовой версии.

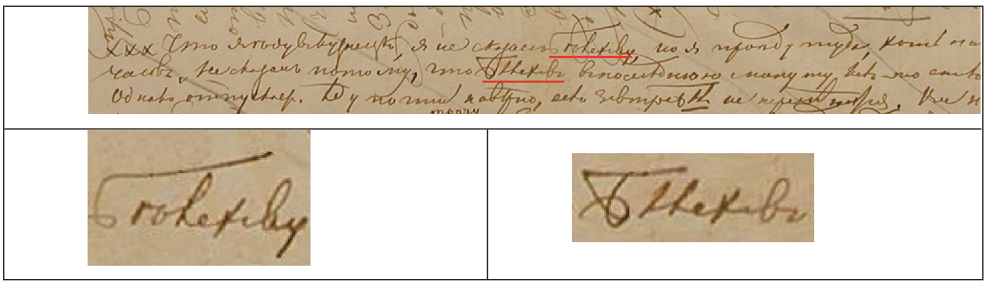
При подготовке рукописных текстов исправлены неверно прочитанные слова и фразы, при этом критический анализ написаний в ряде случаев позволил обнаружить новые факты творческой истории произведения. Так, в одном из черновых планов к роману “Идиот” есть помета с указанием фамилии. Оказалось, что она неверно прочитана публикаторами. У П.Н. Сакулина: “Смерть *Бѣляева*” (с пометой “Неразборчиво”) [41, с. 154; далее в тексте статьи – *1931*]. В первом Полном собрании сочинений: “Смерть *Белакова*” [35, т. 9, с. 269].

В автографе Достоевского: “Смерть *Бѣлехова*” (во всех цитированных случаях курсив наш) (РГАЛИ. Ф. 212. 1. 7. С. 132).

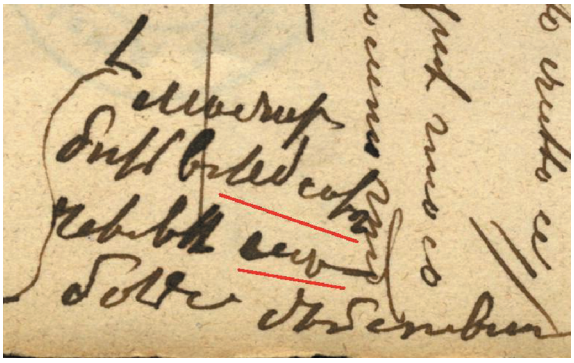
Григорий Белехов – реальное лицо. В именных указателях и справочной литературе, посвящённой творчеству Достоевского, это имя встречается и употребляется вариантно: Белихов – Белехов – Беликов [см.: 35, т. 28, кн. 2, с. 548; 42, с. 78, 79, 101, 108, 114, 122 и др.; 43, с. 198, 199 и др.; 44, с. 90, 91]. Есть упоминания о Белехове в письме Достоевского А.Е. Врангелю от 23 мая 1856 г. [35, т. 28, кн. 1, с. 233]. Автограф письма сохранился (РГБ. Ф. 93. I. 6. 5. Л. 10 об., запись с фамилией Белехова расположена на полях), и мы имеем возможность сравнить написания.

Подполковник Белехов был командиром семипалатинского 7-го линейного Сибирского батальона, в котором Достоевский служил рядовым после пребывания на каторге (т. 28, кн. 2, с. 548). Известно, что Белехов стал покровительствовать Достоевскому, поддерживал писателя в тот сложный жизненный период. Именно в его доме “Д<остоевский> знакомится с А.И. Исаевым и его семьей” [43, с. 199]. А.Е. Врангель в своих воспоминаниях даёт следующую характеристику Белехову: «Беликов был преоригинальная личность, достойная быть описанною. Главное его качество было хлебосольство и добродушие. Он происходил из кантонистов. Очень маленький ростом, с круглым брюшком, юркий и подвижный, с большим красным носом, говорил всем “ты, батюшка” и готов был первому встречному отдать последнюю рубашку. Всегда навеселе, любил карты и особенно прекрасный пол, но выбор его не шел далее солдатских жен и дочерей, причем их отцы и мужья обожали его: “Нам он отец родной, сам он из наших”, – говорили они и горько плакали, когда командир спустил их батальонные суммы и застрелился» [45, с. 25, 26; ср.: 43, с. 242]; см. также письма Достоевского М.М. Достоевскому от 3 ноября 1857 г. (“у нас новый командир” [35, т. 28, кн. 1, с. 291]) и Е.И. Якушкину от 23 ноября 1857 г. (“у нас перемена начальства” [35, т. 28, кн. 1, с. 292]) и примечания к ним [35, т. 28, кн. 1, с. 488]. Это произошло в 1857 г.

О смерти Белехова Достоевский вспоминает во время создания романа “Идиот”, причём на той же странице рукописи упоминаются “сын



Отрывок письма Ф.М. Достоевского А.Е. Врангелю



Черновой набросок к роману “Идиот”

Павлищева” и “рыцарь бедный”, то есть речь идёт об эпизодах, вошедших в окончательный текст. Есть основания полагать, что обстоятельства смерти Белехова стали отправной точкой для развития одного из мотивов романного сюжета и отражены в окончательном тексте.

О растрате ротной суммы сообщается в “статье” против Мышкина, сочинённой компанией Бурдовского и написанной Келлером [1, т. 8, с. 241]. Ложные обвинения, как мы знаем, опровергает Ганя Иволгин. Есть в тексте и реплика самого князя: “Павлищев мой благодетель и друг моего отца. (Ах, зачем вы такую неправду написали, господин Келлер, в вашей статье про моего отца? Никакой растраты ротной суммы и никаких обид подчиненным не было – в этом я положительно убежден, и как у вас рука поднялась такую клевету написать?)” [1, т. 8, с. 251]. Вместе с тем ранее в разговоре с генералом Иволгиным Мышкин замечает, что отец его “умер под судом”, но неизвестно, “за что именно” [1, т. 8, с. 92].

Таким образом, романный мотив растраты ротной суммы, судя по упоминанию о смерти Белехова в набросках к “Идиоту”, восходит к реальным воспоминаниям автора о семипалатинских событиях. Параллель “Белехов, покровитель Достоевского” – отец князя Мышкина становится дополнительным свидетельством автобиографичности образа главного героя.

Любые новые верные прочтения текста (в том числе на морфемном, а не только на лексическом уровне) важны, так как возвращают авторское слово читателю, но есть и особенно значимые уточнения, связанные с восстановлением целых смысловых контекстов. Такой пример обнаруживается на с. 128 рабочей тетради Достоевского (РГАЛИ. Ф. 212. 1. 7), где одна из записей прочитана публикаторами с существенным изменением смысла. Приведём разночтения по источникам (курсив наш):

1931: “Дѣйствительность выше всего. Правда можетъ быть у насъ другой взглядъ на дѣйствительность 1000 *думъ*, пророчество – фантасти<ческая> дѣйствитель<ность>. Можетъ быть въ *Идіотѣ человѣкѣ то* болѣе дѣйствит<еленъ>” [41, с. 153].

ПСС: “Действительность выше всего. Правда, может быть, у нас другой взгляд на действительность, 1000 *душ* <*Может быть*: 1000 дум>, пророчеств*а* – фантасти<ческая> действит<ельность>. Может быть, в *Идиоте человек-то* более действит<елен>” [35, т. 9, с. 276].

Рукопись: “Дѣйствительность выше всего. Правда, можетъ быть, у насъ другой взглядъ на дѣйствительность, 1000 *душъ*, пророчеств*а* – фантасти<ческая> дѣйствит<ельность>. Можетъ быть<,> въ *Идеалѣ человѣкѣ еще* болѣе дѣйствит<еленъ>”.

В пользу чтения “въ Идеалѣ” свидетельствуют и орфография, и графика записей. В слове “Идіотъ” в орфографии XIX в. была бы буква “і” – её в данном случае нет. Графические характеристики записи также не соответствуют написанию слова “Идіотъ”. Примеры из рукописей продемонстрированы на с. 1165.

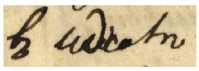
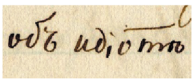
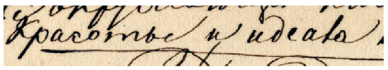
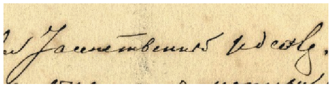
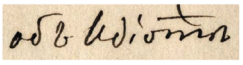
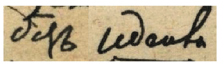
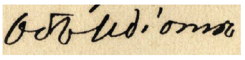
Везде в слове “Идіотъ” Достоевский отчётливо прописывает букву “і”. На ошибочное прочтение “Идиоте” вместо “Идеале”, заданное первой публикацией текста и повторённое в первом академическом издании, повлияло сходство слов по “общему рисунку”, написание слова с заглавной буквы, набросочный характер записи, сделанной на полях бегло, неразборчивым почерком.

Содержание этой записи имеет значение для интерпретации образа “положительно прекрасного человека” в замысле романа “Идиот”, равно как и для понимания авторских взглядов на вопрос о соотношении идеала и действительности, длительное время занимавший Достоевского и обсуждаемый, в частности, в литературно-критических статьях, ср.:

“Мы хотим действительности, жизни, веяния жизни. У нас всё общество, например, разрешает какой-нибудь современный вопрос, оно стремится к выходу, к идеалу, который оно само себе поставило. К этому-то идеалу и поэты должны стремиться” (“Ряд статей о русской литературе. Г–н – бов и вопрос об искусстве”) [35, т. 18, с. 94, 95];

“Что за истинный, зрелый юмор, какая сила действительности, какая злость, какие типы и портреты, и рядом – какая жажда красоты, какой светлый идеал! В Поэ если и есть фантастичность, то какая-то материальная, если б только можно было так выразиться” («<Предисловие к публикации “Три рассказа Эдгара Поэ”>») [35, т. 19, с. 89];

“Притом же Гофман неизмеримо выше Поэ как поэт. У Гофмана есть идеал, правда иногда не точно поставленный; но в этом идеале есть чистота, есть красота действительная, истинная, присущая человеку” [35, т. 19, с. 89];

Идеалъ (идеалъ)	Идіотъ (идіотъ)
 *въ идеалѣ*	 *объ идіотѣ*
 *Красоты и идеала*	*объ Идіотѣ*
 *Таинственный Идеалъ*	 *объ Идіотѣ*
 *безъ Идеала*	 *Объ Идіотѣ*

Графические характеристики написаний

“А стало быть, что же делает тут художник, как не доверяется скорее своей идее (идеалу), чем предстоящей действительности? Идеал ведь тоже действительность, такая же законная, как и текущая действительность. У нас как будто многие не знают того” (“Дневник писателя” за 1873 г.) [35, т. 21, с. 75, 76];

«Что же касается до нравоучения, которым вы кончаете вашу заметку: “Пусть лучше идеалы будут дурны, да действительность хороша”, – то замечу вам, что это желание совершенно невозможное: без идеалов, то есть без определенных хоть сколько-нибудь желаний лучшего, никогда не может получиться никакой хорошей действительности» (“Дневник писателя” за 1876 г.) [35, т. 22, с. 75].

Об интересе Достоевского к этой теме в период создания “Идиота” свидетельствуют письма к А.Н. Майкову от 11 (23) декабря 1868 г. и Н.Н. Страхову от 26 февраля (10 марта) 1869 г. В письме Майкову Достоевский сообщает о планах завершения романа “Идиот” и о замысле “Атеизм” и говорит о том, что его “идеализм” реальнее “реализма”[5]. В письме Страхову эта же мысль звучит яснее: «У меня свой особенный взгляд на действительность (в искусстве), и то, что большинство называет почти фантастическим и исключительным, то для меня иногда составляет самую сущность действительного. Обыденность явлений и казенный взгляд на них, по-моему, не есть еще реализм, а даже напротив. <...> Неужели фантастичный мой “Идиот” не есть действительность, да еще самая обыденная! Да именно теперь-то и должны быть такие характеры в наших оторванных от земли слоях общества, – слоях, которые в действительности становятся фантастичными» [35, т. 29, кн. 1, с. 19].

Ещё один пример. В черновой записи к “Бесам” есть строки, опубликованные неточно. В такой ошибочной формулировке они вошли в научный оборот и неоднократно цитировались в научной литературе. В публикациях:

Коншина:

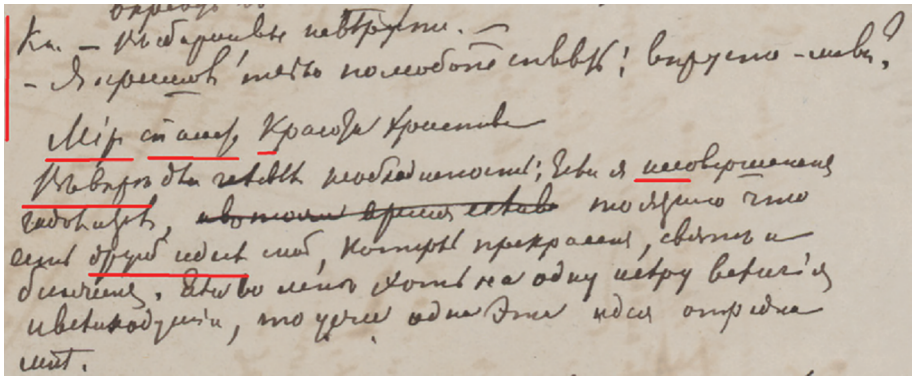
“Кн. Вы барин, вы неверуете –

– Я пришел только полюбопытствовать: веруете ли вы?

*Мир станет к*расота Христова.

В вере для человека необходимость: Если я *не*совершенен гадок и зол [и в тоже время если] то я знаю, что есть *другой идеал* мой, который прекрасен, свят и блажен. Если во мне хоть на одну искру величия и великодушия, то уже одна эта идея отрадна мне” [46, с. 222].

[5] Ср.: “Совершенно другие я понятия имею о действительности и реализме, чем наши реалисты и критики. Мой идеализм – реальнее ихнего. <...> Ихним реализмом – сотой доли реальных, действительно случившихся фактов не объяснишь. А мы нашим идеализмом пророчили даже факты” [35, т. 28, кн. 2, с. 329, 489]. Имеется в виду, вероятно, сюжет “Преступления и наказания”, который совпал по времени с судебным процессом над студентом Даниловым, убившим ростовщика со служанкой.



Черновые наброски к роману “Бесы”

ПСС:

“Шатов:[6] “Вы барин, вы не веруете”.

– Я пришел только полюбопытствовать: веруете ли вы?

– *Мир станет к*расота Христова.

– *В вере* для человека необходимость: если я *не с*овершенен, гадок и зол[7], то я знаю, что есть *другой*, *идеал* мой, который прекрасен, свят и блажен. Если во мне хоть на одну искру величия и великодушия, то уже одна эта идея отрадна мне” [35, т. 11, с. 188, 189].

Рукопись:

“Кн<язь>[8]. – Вы баринъ, вы не вѣруете. –

– Я пришолъ только полюбопытствовать: вѣруете ли вы?

*Міръ спасаетъ К*расота Христова.

Въ вѣрѣ для человѣка необходимость: Если я *нес*овершененъ, гадокъ и золъ, [и въ то же время если *в*] то я знаю, что есть *другой идеалъ* мой, который прекраснъ, святъ и блаженъ. Если во мнѣ хоть на одну искру величія и великодушія, то уже одна эта идея отрадна мнѣ” (РГБ. Ф. 93. I. 1. 5. С. 40).

В первом Полном собрании сочинений при воспроизведении этого отрывка поставлены диалогические тире, из-за чего складывается впечатление, что реплики принадлежат разным персонажам (тем более что выше передаётся диалог Шатова и Князя-Ставрогина). Однако в рукописи это цельное высказывание, которое следует относить к Шатову. Исправление орфографии и пунктуации автографа в собрании сочинений безосновательно: в слитном написании прилагательного “несовершенен” (вариант автора) не содержится никакой ошибки, так же как в словосочетании “есть другой идеал мой” не нужна запятая после “другой”. В обеих публикациях допущена лексическая ошибка: в рукописи – “Міръ спасаетъ Красота Христова”, а не “Мир станет красота Христова”.

Ошибочные чтения объясняются неразборчивостью почерка в этом отрывке и спецификой некоторых начертаний (например, “К” в слове “Красота” выглядит как прописная, но в текстах Достоевского встречаются и строчные написания “к” с крупно прописанными элементами, поэтому в публикациях часто возникают варианты интерпретации слов с начальным “к”). Глагол “спасаетъ” записан нечётко, некоторые буквы очень мелкие (например, второе “с” и буква “е”).

В пользу чтения “спасаетъ” говорят два обстоятельства: начертание буквы “п” – в записи два основных штриха, а не три (как в варианте буквы “т”); вторая “а” после мелко записанной “с” (в публикациях это сочетание было принято за букву “н”, но такой вариант не является правильным: “н” Достоевский пишет с более тонкими вертикальными штрихами, а здесь в начертании есть скругление, которое типично для гласных, в частности, для “а”).

Таким образом, лексические уточнения при установлении авторского текста, безусловно, влияют на понимание всей художественной идеологии автора – так же, как и исследовательские ошибки прочтения рукописи влияют на смысл текста, искажая его. Из приведённых примеров ясно, что текстологическая работа, которая в настоящее время осуществляется во втором Полном собрании сочинений, обладает несомненной ценностью и способствует восстановлению подлинного смысла многих записей Достоевского.

То же следует сказать и о подготовке обновлённых комментариев к произведениям писателя. В настоящее время научная и критическая литература о Достоевском насчитывает тысячи книг и статей, посвящённых творческой истории его произведений и восприятию их в России и за ру-

[6] Примеч. в источнике цитирования: *В рукописи ошибочно*: Кн<язь>.

[7] Примеч. в источнике цитирования: *Далее было*: и в то же время если.

[8] По смыслу должно быть: Шатов.

бежом, в мировом масштабе, в разные исторические периоды, содержащих досконального идейный и художественный анализ, разнообразные интерпретации, гипотезы, догадки, сопоставления и т.п. Накопленные в этом материале важнейшие выводы и положения, имеющие прочное обоснование и получившие общее признание в достоевсковедении, равно как и весомые отличные мнения и полемические соображения, должны быть с достаточной полнотой отражены в статейных и реальных комментариях в новом собрании сочинений. Это касается в том числе христианского контекста творчества Достоевского, так как данной теме в советский период не было уделено достаточного внимания; в наши же дни она приобрела особую научную и общественную значимость и на ней зачастую сосредоточено едва ли не преимущественное внимание исследователей.

В томах нового собрания сочинений, по сравнению с первым изданием, подробно отражена графика Достоевского – описаны рисунки и каллиграфические прописи, а в разделах примечаний приводится по необходимости комментарий к каллиграфии. Большой объём дополнений имеется в историко-литературном и реальном комментариях. Помимо собственно текстологических объяснений, это обширный новый фактический материал – новые комментарии к именам, сюжетным ситуациям, мотивам, библейским цитатам и аллюзиям (как в печатных, так и в рукописных текстах), существенно дополненные разделы о рецепции произведений Достоевского в театре и кино и др.

В последнем вышедшем на данный момент (девятом) томе в качестве комментаторов приняли участие зарубежные коллеги из Аргентины (Алехандро Ариель Гонсалес, Лаура Перес Диатто), Болгарии (Эмил Димитров), Венгрии (Агнеш Дуккон), Италии (Стефано Алоэ), Испании (Бенами Баррос Гарсиа), КНР (Чжан Бяньгэ), Польши (Тадеуш Сухарски), США (Юрий Корриган), Швейцарии (Даниэль Риникер, Ульрих Шмид), Японии (Наохито Саису), написавшие основательные обзоры научной и художественной рецепции романа “Идиот” в этих странах в контексте истории и современности. Вместе с многочисленными дополнениями в “статейной” части комментария, сделанными российскими коллегами – участниками издания, эти обзоры существенно дополняют картину изучения и восприятия романа в России и за рубежом, учитывая всю многоплановость проблематики этого произведения и научные дискуссии о нём, в том числе в связи с христианскими взглядами писателя и их воплощением в тексте. Участники тома стремились максимально полно представить разные, порой противоборствующие точки зрения на роман

Личные вещи Ф.М. Достоевского: чернильный прибор; очки с футляром; портсигар; бант распорядителя на открытии памятника А.С. Пушкину в Москве в 1880 г.

“Идиот”, показывая весь спектр исследовательских идей в их исторической перспективе.

В то же время следует отметить, что для подготовки такого значительного корпуса текстов, как Полное собрание сочинений Ф.М. Достоевского, имеющихся сотрудников недостаточно – особенно это касается выполнения текстологической работы. Необходимо расширение научного коллектива издания за счёт привлечения высококвалифицированных специалистов из ведущих научных центров страны, занимающихся исследованием и изданием произведений Достоевского. Кроме того, крайне низкий тираж томов – от 300 до 700 экземпляров каждый – не позволяет обеспечить новым изданием все университетские и региональные научные библиотеки и удовлетворить несомненный и неоднократно проявленный интерес читателей по всей стране и за её пределами.

Однако юбилей требует возвращения к высокой ноте.

Отношение Ф.М. Достоевского к европейской цивилизации было не менее страстным, чем его отношение к России. При этом не может не пора-

жать, что, будучи одновременно непримиримым, восторженным и болезненным, это отношение было едва ли не требовательным, заботливым, наставительным и отеческим, каким бывает отношение к живому существу, более того, к самым близким людям, за которых мы несём ответственность. Поэтому нет ничего удивительного и в том, что *переживание* Достоевского, его мировидение и мирочувствование, абсолютно по-разному прочитанные, услышанные и усвоенные миллионами людей не только в Европе, но и во всём мире, стало важнейшим явлением культурной, интеллектуальной и духовной жизни XX – начала XXI в.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Достоевский Ф.М.* Полное собрание сочинений и писем. В 35 т. СПб.: Наука, 2013.
2. *Нечаева В.С.* Ранний Достоевский. 1821–1849. М.: Наука, 1979.
3. *Архипова А.В.* Как мы издавали академического Достоевского // Достоевский и мировая культура. СПб.: Серебряный век, 2001. № 16. С. 225–236.
4. *Розенблюм Л.М.* Проблемы публикации записных книжек писателя (из опыта “Литературного наследства”) // Современная текстология: теория и практика М.: Наследие, 1997. С. 89–94.
5. *Достоевский Ф.М.* Собрание сочинений. В 9 т. / Подгот. текстов, сост., примеч., вступ. ст., коммент. Т.А. Касаткиной. М.: Астрель: АСТ, 2003–2004.
6. *Достоевский Ф.М.* Полное собрание сочинений. В 18 т. / Науч. ред. В.Н. Захаров. М.: Воскресенье, 2003–2007.
7. *Достоевский Ф.М.* Полное собрание сочинений. Канон. тексты: в авт. орфографии и публикации / Под ред. проф. В.Н. Захарова. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1995–2015. Т. 1–9, 11.
8. Современная текстология: теория и практика / ИМЛИ им. А.М. Горького РАН. М.: Наследие, 1997.
9. *Рак В.Д.* Пушкин, Достоевский и другие (Вопросы текстологии, материалы к комментариям). СПб.: Акад. проект, 2003.
10. *Шапир М.И.* Статьи о Пушкине / Сост. Т.М. Левина; изд. подг. К.А. Головастиков, Т.М. Левина, И.А. Пильщиков; под общ. ред. И.А. Пильщикова. М.: Языки слав. культур, 2009.
11. *Тарасова Н.А.* “Дневник писателя” Ф.М. Достоевского за 1876–1877 годы. Критика текста. М.: Квадрига; МБА, 2011.
12. *Тарасова Н.А., Панюкова Т.В.* Семантика и идеография рукописного текста Достоевского: от почерка к смыслу // Неизвестный Достоевский. 2020. № 4. С. 222–292. https://unknown-dostoevsky.ru/files/redaktor_pdf/1607609576.pdf
13. *Тарасова Н.А.* Цифровой архив Достоевского: проблемы публикации рукописного текста в электронном издании // Филологические науки. 2019. № 2. С. 81–91.
14. *Тихомиров Б.Н.* Материалы к родословной Достоевских // Достоевский и мировая культура. СПб.: Серебряный век, 1998. № 11. С. 188–198.
15. *Башкиров Д.Л.* История рода Достоевских: новые материалы // Вестник РГНФ. 2007. № 4(49). С. 151–163.
16. Хроника рода Достоевских / Под ред. И.Л. Волгина (руководитель проекта); Игорь Волгин. Родные и близкие: Ист.-биогр. очерки. М.: Фонд Достоевского, 2013.
17. *Богданов Н.Н., Роговой А.И.* Родословие Достоевских: в поисках утерянных звеньев. 2-е изд. М.: Старая Басманная, 2010.
18. *Богданов Н.Н.* “...Лица необщим выраженьем...”. Родственное окружение Ф.М. Достоевского. 2-е изд. М.: Новый хронограф, 2014.
19. *Тарасова Н.А.* Проблемы изучения рабочих тетрадей Ф.М. Достоевского в биографическом контексте // Русская литература. 2019. № 3. С. 103–110.
20. *Панюкова Т.В.* Фактические источники при исследовании биографии Ф.М. Достоевского: от документа – к факту и интерпретации // Достоевский и мировая культура. Филологический журнал. 2020. № 4(12). С. 158–196.
21. О Достоевском. Творчество Достоевского в русской мысли 1881–1931 годов / Сост., прим. В.М. Борисова, А.Б. Рогинского. М.: Книга, 1990.
22. Русские эмигранты о Достоевском / Сост., прим. С.В. Белова. СПб.: Андреев и сыновья, 1994.
23. Властитель дум: Ф.М. Достоевский в русской критике конца XIX – начала XX века / Сост., вступ. ст., коммент. Н. Ашимбаевой. СПб.: Худож. лит., 1997.
24. *Гончарова Н.Г.* Ф.М. Достоевский в зеркалах графики и критики (1848–1998). М.: Совпадение, 2005.
25. *Багно В.Е.* Спор о Толстом и Достоевском в литературах Латинской Америки // Толстой или Достоевский? Философско-эстетические искания в культурах Востока и Запада. СПб.: Наука, 2003. С. 152–161.
26. *Багно В.Е.* Поэма “Великий Инквизитор” в эмигрантском дискурсе // Русская литература. 2009. № 2. С. 202–207.
27. *Багно В.Е.* Европа как крёстная дочь (вторая родина Достоевского) // Вопросы философии. 2011. № 4. С. 104–108.
28. *Багно В.Е.* Ясные поляны и петербургские углы России и русской литературы (Прогнозы и пророчества Э. Пардо Басан) // Русская литература. 2020. № 3. С. 74–84.
29. Образ Достоевского в фотографиях, живописи, графике, скульптуре / Отв. ред. Н.Т. Ашимбаева. СПб.: Кузнечный переулок, 2009.
30. Образы Достоевского в книжной иллюстрации и станковой графике / Отв. ред. Н.Т. Ашимбаева. СПб.: Кузнечный переулок, 2011.
31. Русская классика: Pro et contra. Между Востоком и Западом / Сост. Л.В. Богатырёва и др. СПб.: Изд-во РХГА, 2018.
32. Полное собрание сочинений Ф.М. Достоевского. Т. 1–14. СПб.: Тип. А.С. Суворина, 1882–1883. Т. 7.

33. Полное собрание сочинений Ф.М. Достоевского. СПб.: Тип. П.Ф. Пантелеева, 1904–1906. Т. 7.

34. *Достоевский Ф.М.* Полное собрание художественных произведений. В 13 т. / Под ред. Б.В. Томашевского и К.И. Халабаева. М.; Л.: Госиздат, 1926—1930. Т. 6.

35. *Достоевский Ф.М.* Полное собрание сочинений. В 30 т. Л.: Наука, 1972–1990.

36. *Фомичёв С.А.* Стихотворение о рыцаре бедном (Текстологические уточнения к академическим изданиям А.С. Пушкина и Ф.М. Достоевского) // Sub specie tolerantiae. Памяти В.А. Туниманова. СПб.: Наука, 2008. С. 378–384.

37. *Пушкин А.С.* Полное собрание сочинений. В 17 т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937–1959. Т. 3. Кн. 2.

38. *Крапивин Г.Н.* История одной мнимой “опечатки”: А.Н.Д., А.М.Д. или A.M.D.? // Достоевский и мировая культура. СПб.: Серебряный век, 2014. № 32. С. 275–292.

39. *Монахиня Ксения* (*Н. Соломина-Минихен*). О влиянии Евангелия на роман Достоевского “Идиот”. СПб.: Скифия, 2016.

40. *Боград Г.Л.* Павловские реалии в романе Ф.М. Достоевского “Идиот” // Статьи о Достоевском. 1971–2001 / Литературно-мемориальный музей Ф.М. Достоевского в Санкт-Петербурге. СПб.: Серебряный век, 2001. С. 152–164.

41. Из архива Ф.М. Достоевского. Идиот. Неизданные материалы / Ред. П.Н. Сакулина и Н.Ф. Бельчикова. М.; Л.: Огиз – Гос. изд-во худ. лит-ры, 1931.

42. Ф.М. Достоевский в забытых и неизвестных воспоминаниях современников / Вступ. ст., подгот. текста и примеч. С.В. Белова. СПб.: Андреев и сыновья, 1993.

43. Летопись жизни и творчества Ф.М. Достоевского, 1821–1881. В 3 т. СПб.: Акад. проект, 1999. Т. 1.

44. *Белов С.В.* Энциклопедический словарь “Ф.М. Достоевский и его окружение”. В 2 т. СПб.: Алетейя, 2001. Т. 1.

45. *Барон Врангель А.Е.* Воспоминания о Ф.М. Достоевском в Сибири. 1854–56 гг. СПб.: Тип. А.С. Суворина, 1912.

46. Записные тетради Ф.М. Достоевского / Подгот. к печати Е.Н. Коншиной; коммент. Н.И. Игнатовой, Е.Н. Коншиной. М.; Л.: Academia, 1935.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1170–1178

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

“ЭТО НАПРАВЛЕНИЕ СТАНОВИТСЯ ОДНИМ ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ В МИРОВОЙ НАУКЕ...”

К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Г.П. ШВЕЙКИНА

© 2021 г. Е. В. Поляков[a],*, А. В. Дерябина[a],, В. Г. Бамбуров[a],*****

[a] *Институт химии твёрдого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

* *E-mail: polyakov@ihim.uran.ru*

** *E-mail: deryabina@ihim.uran.ru*

*** *E-mail: bam@ihim.uran.ru*

Поступила в редакцию 29.04.2021 г.
После доработки 06.05.2021 г.
Принята к публикации 08.06.2021 г.

Статья повествует о жизненном пути и научных достижениях академика Г.П. Швейкина (1926–2019) – известного российского учёного, специалиста в области высокотемпературной неорганической химии тугоплавких соединений, организатора нового научного направления “химия твёрдого тела” в СССР, разработчика высокоэффективных технологий получения новых веществ и конструкционных материалов на их основе с уникальными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: ниобий, титан, химия твёрдого тела, карботермическое восстановление, история науки, Карабаш, АН СССР, безвольфрамовые твёрдые сплавы.

DOI: 10.31857/S0869587321120094

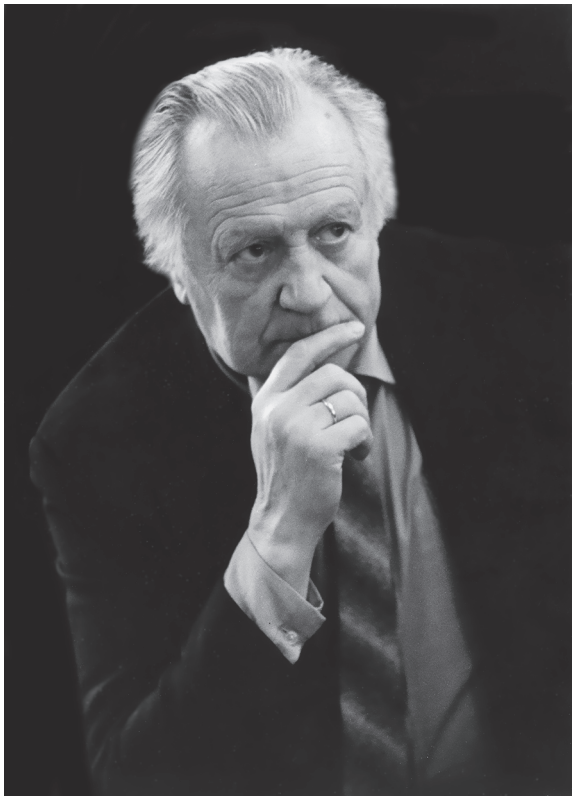
Геннадий Петрович Швейкин родился 29 августа 1926 г. в г. Карабаш Уральской (ныне Челябинской) области, известном ещё до революции 1917 г. в качестве “медной столицы России”. Отец, Пётр Селиверстович Швейкин, потомственный кузнец, работал на Карабашском медеплавильном заводе. Мать, Татьяна Константиновна, ушла из жизни, когда сыну было всего 5 лет. В 1931 г. отец и сын Швейкины перебрались в г. Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области, однако уже в 1935 г. вернулись в родной Карабаш.

В 1942 г. Геннадия Швейкина мобилизовали в школу фабрично-заводского обучения, где он освоил специальность токаря-универсала, а затем был принят на Карабашский медеплавильный завод. Как он вспоминал позднее, даже подростки стояли за станками по двенадцать часов в сутки, обтачивая корпуса снарядов; была цель – победить в войне! [1].

В 1945 г. Швейкин поступает на металлургический факультет Уральского индустриального института им. С.М. Кирова[1], а весной 1949 г. перед окончанием четвёртого курса в его жизни происходит крутой поворот – он переводится на только что созданный физико-технический факультет, само появление которого связано с запросом времени. Свердловск, наряду с Москвой, Ленинградом и Томском, становился центром подготовки кадров для совершенно новой отрасли – атомной промышленности. Уже в мае 1949 г. на факультете были сформированы две первые группы, у студентов которых вместо сессии начался новый семестр с неожиданным набором дисциплин: атомная физика, органическая химия, процессы и аппараты химической промышленности. Занятия вели опытные профессора и доценты: К.Н. Ша-

ПОЛЯКОВ Евгений Валентинович – доктор химических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией физико-химических методов анализа ИХТТ УрО РАН. ДЕРЯБИНА Александра Владимировна – кандидат исторических наук, руководитель архива ИХТТ УрО РАН. БАМБУРОВ Виталий Григорьевич – член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ИХТТ УрО РАН.

[1] Металлургический факультет Уральского политехнического института был организован осенью 1918 г. в Уральском горном институте. У его истоков стояли известные учёные-металлурги профессора В.Е. Грум-Гржимайло, Н.Н. Барабошкин, А.Ф. Головин, Н.Н. Доброхотов, А.Е. Маковецкий. [2, с. 156–162].



Академик Г.П. Швейкин. Март 1994 г.
Фото С.Г. Новикова

балин, А.И. Левин, Б.Н. Лундин, А.С. Виглин, Е.И. Крылов, А.В. Помосов [3]. В декабре 1950 г. состоялся первый выпуск молодых специалистов. Решением государственной комиссии дипломированный инженер Швейкин был распределён на работу в Институт химии и металлургии Уральского филиала АН СССР (УФАН СССР)[2].

Путь в науке Г.П. Швейкин начал с должности младшего научного сотрудника лаборатории химии и технологии редких элементов, которой с 1940 по 1971 г. руководила профессор А.К. Шарова[3]. Именно благодаря её усилиям молодой выпускник Физтеха УПИ был принят на работу в академический институт, а не отправился на оборонный завод в Подмосковье, как предполагалось. Сотрудники лаборатории исследовали содержание рассеянных редких элементов (таллия, индия, германия и галлия) в полупродуктах и отходах цветной металлургии, ими был разработан оригинальный метод промышленного получения таллия и германия.

В 1950-е годы под руководством А.К. Шаровой проводились исследования лопаритовых руд Кольского полуострова и пирохлоровых руд Урала, изучался их состав, физико-химические свойства, разрабатывались технологические методы извлечения из них редких металлов. Первые работы Г.П. Швейкина были связаны с созданием технологической схемы промышленного выделения урана и ниобия из диктионемовых сланцев и пирохлоровых руд. При поступлении в 1953 г. в аспирантуру к профессору Н.В. Деменёву[4] целью его будущей диссертации стало изучение возможности получения металлического ниобия. Рассматривалось два возможных варианта восстановления пятиокиси ниобия: первый – с использованием твёрдого углерода в вакууме; второй – карбида ниобия также в вакууме. Молодым учёным был теоретически обоснован углетермический способ получения редких металлов, представленный затем в серии статей [5], вышедших в том числе в соавторстве с профессором П.В. Гельдом[5], который оказал большое влияние на его формирование как исследователя. Впрочем, его учителя – это целая плеяда учёных-химиков. Вот как он отзывался о них в одном из интервью. На вопрос: “Встречались ли вам люди, которые самим своим существованием вас возвышают?” – Геннадий Петрович, прибегнув к образному

[2] История академической науки на Урале тесно связана с обеспечением планов индустриализации. 13 января 1932 г. Секретариат ЦИК СССР одобрил организацию комплексной научно-исследовательской базы в Свердловске. Возглавил УФАН СССР академик А.Е. Ферсман. К 1950 г. в составе филиала осуществляли деятельность Институт физики металлов, Институт химии и металлургии, Горно-геологический институт, Институт биологии, Сектор технико-экономических исследований, а также Ильменский заповедник, Кунгурский и Салехардский стационары [4].

[3] Шарова Анна Кирилловна (1900–1999 гг.) – доктор технических наук, основатель уральской научной школы редких элементов, благодаря её исследованиям были расширены знания по химии германия, титана, ниобия, таллия, заложены технологические основы их промышленного производства в СССР.

[4] Деменёв Николай Васильевич (1902–1982 гг.) – доктор технических наук, академик АН Киргизской ССР. С 1932 по 1936 г. директор Уральского физико-химического НИИ, а с 1945 по 1950 г. – Института химии и металлургии, председатель президиума УФАН АН СССР (1957–1961 гг.). Специалист в области технологии и металлургии редких металлов, внёс большой вклад в решение проблемы комплексного использования лопаритов, ильменитов и других руд, содержащих тугоплавкие, редкоземельные и радиоактивные элементы. В послевоенные годы совместно с коллегами начал исследования свойств металлов в тонких слоях, опередив развитие тонкоплёночных технологий на 20 лет [4].

[5] Гельд Павел Владимирович (1911–1993) – член-корреспондент АН СССР. Основные направления научной деятельности связаны с физикой и химией конденсированного состояния, теплофизикой и термохимией соединений переходных металлов с различными элементами включения (кремний, алюминий, бор и др.). Под его руководством изучены физические свойства металлов и сплавов в широком диапазоне температур, включая расплавы, проведены исследования поведения водорода в металлах, особенностей атомного и магнитного строения микрогетерогенных систем. Автор (совместно с О.А. Есиным) фундаментального труда “Физическая химия пирометаллургических процессов” (1950).

Г.П. Швейкин (слева), младший научный сотрудник Института химии и металлургии Уральского филиала АН СССР. Свердловск, начало 1950-х годов

сравнению, ответил: “Мне довелось знать таких людей, и всю жизнь я вспоминаю о них с благоговением. Парад умов: Есин, Гельд, Чуфаров, Деменёв, Архаров, Ростовцев... Замечательные учёные моей специальности, эрудиты, умницы, блестящие ораторы! Когда мне на второй год после начала работы в УФАН посчастливилось поучаствовать в конференции с их участием, я понял, что всё, чему меня учили, – это краешек ногтя на пальце. Не ноготь целиком, не палец и не рука, но только краешек ногтя...” [1].

Диссертационная работа завершилась успехом. 26 мая 1958 г. на заседании учёного совета УПИ им. С.М. Кирова 27 его членов единогласно проголосовали за присвоение Г.П. Швейкину учёной степени кандидата технических наук за исследование углетермического восстановления пятиокиси ниобия.

Начинается новый этап в его научной биографии, теперь уже в качестве руководителя исследовательской группы. Учёный совет Института химии УФАН СССР (протокол от 09.12.1960 г. № 14), заслушав доклад кандидата наук Г.П. Швейкина, принял решение о формировании группы на правах лаборатории. Задача – физико-химические исследования соединений тугоплавких металлов редких элементов при высоких температурах [6]. В формируемую группу вошли В.Г. Гайдуков, Р.А. Климов, И.И. Матвеенко, В.Д. Любимов, вскоре к ним присоединились В.А. Переляев и В.К. Огородников.

Новый коллектив сосредоточил усилия на синтезе и изучении простых и сложных соединений карбидов, окислов, нитридов, боридов и им подобных переходных металлов IV, V, VIA групп, обладающих высокой температурой плавления, коррозионно- и износоустойчивостью. Полученные результаты позволили прояснить природу химической связи, закономерности образования этого класса соединений, объяснить изменения их свойств с возможностью прогнозирования многих из них. По результатам работы группой, а с 1963 г. лабораторией тугоплавких соединений под руководством Г.П. Швейкина, было опубликовано значительное количество статей в отечественных журналах, И.И. Матвеенко и В.Д. Любимов защитили кандидатские диссертации.

Получение чистых металлов и соединений стало по существу отдельной экспериментальной задачей. Учитывая возникающие при этом трудности, в частности высокую активность исследуемых материалов и необходимость работы в высоком вакууме при температурах до 2300°С, лабораторию оснастили до того не применявшимися высокотемпературными вакуумными печами, установками по измерению электрокинетических, термоэлектрических и магнитных характеристик веществ. И.И. Матвеенко и Р.А. Климов доводили установки до уровня чувствительности лучших мировых образцов, например, установка по измерению магнитной восприимчивости слабомагнитных веществ в интервале температур от

Президент АН СССР академик М.В. Келдыш, доктор химических наук Б.Н. Лундин, академик А.Н. Фрумкин, вице-президент АН СССР академик В.А. Кириллин, старший научный сотрудник, кандидат технических наук Г.П. Швейкин. Свердловск, Уральский филиал АН СССР, 1963 г.

300 до 1300 K оставалась непревзойдённой по точности в УрО РАН до начала XXI в. [7].

Результаты этих фундаментальных работ Г.П. Швейкин обобщил в докторской диссертации, посвящённой физико-химическим исследованиям оксидов, карбидов и оксикарбидов ванадия, ниобия и тантала. В ней впервые были установлены оптимальные условия устойчивости оксикарбидов ванадия и ниобия. Представленный в диссертации материал открыл новые возможности решения технологических задач – получения тугоплавких металлов, сплавов и термически стойких композиций, устойчивых к действию агрессивных сред [8].

В сложный для АН СССР период, связанный с административными реформами Н.С. Хрущёва, при которых в 1961–1963 гг. УФАН СССР и часть его институтов были переданы из АН СССР в ведение Государственного комитета СМ РСФСР по координации научно-исследовательских работ, Г.П. Швейкин в Институте химии исполнял обязанности заместителя директора по неорганическому отделу (1962–1967) и разработал перспективный план реорганизации отдела в самостоятельный институт неорганической химии. Предлагавшиеся направления работ: теоретическая химия, термохимия, магнетохимия редких элементов, развитие новых физико-химических методов исследования неорганических веществ – рентгеноспектральных, оптических, нейтронографических. Этот план не удалось реализовать, но идеи, тогда выдвинутые Швейкиным, воплотились в дальнейшем развитии Института химии. Инициативы уральских ученых были поддержаны комиссией во главе с президентом АН СССР академиком М.В. Келдышем, посетившей в 1963 г. Свердловск и ознакомившейся с работой институтов УФАН СССР.

В 1972 г. президиум АН СССР назначает Г.П. Швейкина директором Института химии Уральского научного центра АН СССР (на этом посту он сменил профессора В.Г. Плюснина[6]). В судьбе института новый директор сыграет решающую роль – он сконцентрирует исследования на только формирующемся научном направлении – химии твёрдого тела (ХТТ).

Работы по получению новых твёрдых материалов (сплавов, композитов, керамики), полупроводниковых оксидов, изучению механохимических методов синтеза объединили интересы учёных Свердловска (Г.П. Швейкин), Москвы (академик Ю.Д. Третьяков) и Новосибирска (академик В.В. Болдырев) в новой для физической химии области. Эта область – химия твёрдого тела, в настоящее время ставшая основой наук о материалах, позволила совместить методы неорга-

[6] Плюснин Василий Григорьевич (1902–1979 гг.) – доктор химических наук, с 1956 по 1972 г. директор Химического института УФАН. Им проведены работы по синтезу полимерных материалов, разработаны технологические процессы получения чистых ароматических углеводородов, пластификаторов резин, флотореагентов.

Проект наградного знака “За вклад в развитие химии твёрдого тела”, которым предлагается отмечать лучшую отечественную работу года

нической и физической химии, развить новые методы тонкого неорганического синтеза, физики твёрдого тела, включая компьютерные вычислительные методы квантовой химии и молекулярной динамики. Перечисленные составляющие обеспечили теоретическую основу появления перспективных материаловедческих направлений – синтеза ультрадисперсных порошковых материалов, получения новых высокотемпературных сверхпроводников и магнитных полупроводников, материалов для нужд фотоники, металлокерамики. Эти работы активно развиваются и в настоящее время, и неслучайно в 2020 г. сотрудники ИХТТ УрО РАН выступили с инициативой учреждения почётного знака “За вклад в развитие химии твёрдого тела”, призванного отмечать наиболее интересные отечественные фундаментальные исследования и технологические разработки в области ХТТ по результатам года. Инициатива была поддержана научной общественностью Новосибирска, Москвы и Санкт-Петербурга.

В пояснительной записке о необходимости формирования нового в СССР научного направления (она адресовалась руководству Отделения физикохимии и технологии неорганических материалов АН СССР, датирована 1973 г.) Швейкин отмечал: “По оценке ведущих специалистов в области твёрдого тела как в нашей стране, так и за рубежом это направление становится одним из важных и перспективных в мировой науке. В последние годы формируется в виде самостоятельного раздела... Особенностью этого направления в неорганической химии является выделение одной из форм агрегатного состояния вещества (твёрдая фаза) в предмет самостоятельного изучения с привлечением теоретических и экспериментальных достижений физики твёрдого тела. Другая особенность выдвигаемой проблемы состоит в том, что в качестве основы для синтеза выбраны переходные металлы. Наконец, третья особенность перспективных исследований в области химии твёрдого тела – изучение соединений преимущественно переходных металлов в основном низших валентностей” [9].

Уже в январе 1974 г. в Свердловске состоялась Выездная сессия Научного совета АН СССР по неорганической химии под председательством академика В.И. Спицына, на которой были рассмотрены возможности развития исследований по химии твёрдого тела в научных учреждениях Урала. В её работе приняли участие свыше 100 специалистов из Свердловска, Москвы, Перми, Новосибирска, Киева, Челябинска. В том же году Научный совет по химии твёрдого тела УНЦ АН СССР (на правах секции) под председательством Г.П. Швейкина был введён в структуру Научного совета АН СССР по неорганической химии (протокол бюро Отделения физикохимии и технологии неорганических материалов АН СССР от 24 декабря 1974 г. № 7) [10].

В июне 1975 г. в г. Первоуральске Свердловской области состоялась первая Всесоюзная конференция по химии твёрдого тела, в дальнейшем такие конференции станут регулярными. В октябре 1990 г. в Одессе усилиями Института химии УрО АН СССР и Физико-химического института им. А.В. Богатского АН УССР была собрана международная конференция под председательством академика АН УССР С.А. Андронати и Г.П. Швейкина. В её консультативный комитет вошли О.К. Андерсен, А. Симон, Х. Шмальцрид (ФРГ), Е.И. Грееден (Канада), Т. Гебалл, В.Х. Пейн, Л.Е. Тот (США), С.Н.Р. Рао (Индия), Ц. Жао (КНР), К. Полмонари (Италия), П. Хагенмюллер (Франция), Ю.Н. Буслаев, С.А. Андронати, Ю.Д. Третьяков (СССР). Проведение конференций на площадке ИХТТ УрО РАН стало традицией, очередная Всероссийская конференция “Химия твёрдого тела и функциональные материалы” состоится осенью 2022 г.

Как авторитетная в научном мире организация Институт химии, руководимый Г.П. Швейки-

Директор института химии Уральского научного центра АН СССР Г.П. Швейкин и старший научный сотрудник кандидат химических наук Б.В. Митрофанов. Обсуждение работы по получению безвольфрамовых твёрдых сплавов. Свердловск, 1982 г.

ным, стал основой Секции химии твёрдого тела Научного совета по неорганической химии АН СССР, объединив вокруг себя ведущих учёных страны. Проблематика научных исследований, координируемых Секцией ХТТ, постепенно расширялась, в 1980-е годы она включала в себя подпрограммы “Материал”, “Плёнки”, “Огнеупор”, “Хром”, “Катализатор” и другие. В проведении фундаментальных и прикладных исследований принимало участие более 20 академических, отраслевых институтов и вузов страны. В 1991 г. по инициативе Г.П. Швейкина в соответствии с постановлением президиума АН СССР Институт химии был переименован в Институт химии твёрдого тела (ИХТТ). Фундаментальные и прикладные исследования института связаны с направленным синтезом твердофазных соединений и сплавов s-, p-, d-, f-элементов в различных структурных состояниях, изучением их физико-химических свойств с целью разработки перспективных материалов, совершенствованием существующих и созданием новых технологий, в том числе переработки отходов промышленных производств и охраны окружающей среды.

Вершина материаловедческой деятельности Г.П. Швейкина – научно-техническое решение проблемы получения безвольфрамовых твёрдых сплавов и организация производства этих сплавов в СССР. Здесь в полной мере проявился талант Геннадия Петровича как учёного, организатора и руководителя большого коллектива. Промышленное производство твёрдых сплавов требует постоянного углубления знаний о физико-химической природе тугоплавких фаз, исследования уникальных по своим параметрам групп нестехиометрических соединений с широчайшей областью гомогенности кристаллической решётки. Проблема замены дорогих и материалоёмких твёрдых композитов из сплавов карбида вольфрама-кобальта лёгкой металлокерамикой на основе допированных карбонитридов титана была столь оригинальной и перспективной для широкого применения в машиностроении, что стала по рекомендации АН СССР предметом рассмотрения в Совете Министров СССР. В результате вышло в свет постановление “О развитии производства современных сложнолегированных быстрорежущих сталей и твёрдосплавных неперетачиваемых...” от 05.08.1974 г. № 625, которое было детализировано в постановлениях Госкомитета Совета министров СССР по науке и технике и распоряжениях президиума АН СССР.

Институт химии под руководством Г.П. Швейкина взаимодействовал со Всесоюзным научно-исследовательским институтом твёрдых сплавов (Москва) и Кировградским заводом твёрдых

сплавов (Свердловская область), на котором для проведения совместных работ была организована проблемная лаборатория. Энтузиазм учёных и производственников был столь велик, что от постановки задачи до её реализации понадобилось всего шесть лет, в течение которых были разработаны перспективные технологии производства безвольфрамовых твёрдых сплавов на карбонитриде титана (КНТ16, ЛЦК20). Патент Г.П. Швейкина, В.Д. Любимова, Б.В. Митрофанова и их соавторов на способ получения твёрдого сплава карбонитрида титана приобрели ГДР, Франция, Австрия, Великобритания, ЧССР, США. Работы по получению безвольфрамовых твёрдых сплавов отмечены Почётным дипломом и тремя медалями (золотой, серебряной и бронзовой) ВДНХ СССР, а также золотой медалью Международной Лейпцигской ярмарки (ГДР).

В дальнейшем был разработан ряд новых сплавов типа КНТ и ЛЦК (КНТ12, КНТ16, КНТ20, КНТ30, ЛЦК20), которые обладали высокой твёрдостью, прочностью на изгиб, устойчивостью к окислению на воздухе при высоких скоростях металлорезки, хорошим сопротивлением истиранию, абразивному износу и коррозии в агрессивных средах. Наибольшее промышленное применение нашли безвольфрамовые твёрдые сплавы КНТ16 и ЛЦК20. Внедрению последнего предшествовали лабораторные и промышленные испытания, в которых участвовали 92 промышленных предприятия на территории СССР. На Кировоградском заводе твёрдых сплавов начался выпуск инструментальных материалов марки КНТ, достигший объёма 20 т/год [11].

Научная и организационная деятельность учёного в области высокотемпературной неорганической химии и материаловедении тугоплавких соединений, в химии твёрдого тела были признаны научным сообществом и 1976 г. Геннадий Петрович Швейкин избирается членом-корреспондентом АН СССР, в 1987 г. – действительным членом АН СССР.

В 1990-е годы научный коллектив под руководством Швейкина выступил с инициативой решения проблемы переработки лейкоксеновых концентратов Ярегского нефтяного месторождения (Республика Коми). Его особенность состояла в том, что добыча здесь велась не с помощью буровой, а шахтным способом – на поверхность поднимались куски породы, пропитанной нефтью, и после её отгонки лейкоксеновый концентрат шёл в отвал. Коллектив учёных ИХТТ и Института химии Коми научного центра УрО РАН после серии лабораторных исследований предложил новую технологию вскрытия лейкоксенового концентрата [12]. Новая разработка являлась развитием идей Г.П. Швейкина по применению карботермических методов в сфере традиционных гидрометаллургических производств, что привело к яркому по эффективности и технологической простоте результату. Лейкоксеновый концентрат, тонкодисперсная фазовая смесь диоксидов титана и кремния, при карботермическом восстановлении позволял получать в одну стадию высокотехнологичный полупродукт тусин – смесь карбонитридов, карбосилицидов титана и карбида кремния. Новая технология открыла возможность производства высококачественного пигментного диоксида титана, превосходящего по показателям аналогичную продукцию компании “Дюпон”, а ещё – карбида кремния [13], благодаря модификации которого удалось создать новый композиционный материал, используемый для изготовления нагревателей в муфельных микроволновых печах [14].

В конце 1990-х годов научные интересы академика Г.П. Швейкина дополнились областью ультрадисперсного состояния вещества. На заре эпохи “нанобума” в его группе был выполнен синтез ультра- и нанодисперсных порошков оксидных и карбидных фаз металлов – вольфрама, титана, ванадия, кобальта, хрома, алюминия и других. Полученные ультрадисперсные соединения титана поражали своими свойствами, особенно с учётом того фактора, что материалы синтезировались при умеренных температурах [15].

Малая родина Г.П. Швейкина – город Карабаш Челябинской области весь XX век был одним из промышленных центров медной металлургии на Южном Урале и обеспечивал Россию и Европу россыпным, затем анодным золотом, высококачественной черновой медью. К 1909 г. “Русско-Азиатская корпорация”, в которую входил и Карабашский медеплавилный завод, производила ежегодно почти 24000 т готового продукта, её директор шотландский предприниматель Д.Л. Уркварт в отчёте писал: «Я сделал Кыштым процветающим, и “Русско-Азиатская корпорация” тоже будет процветающей, всё это принесёт нам прибыль» [16]. В 1917 г. Карабашский завод был национализирован, а в годы Гражданской войны остановлен. Но к концу 1930-х годов объёмы производства меди здесь достигли такого масштаба, что в значительной степени помогли обеспечить нужды обороны страны в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.

Результаты потребительского отношения к несметным природным богатствам региона привели к тому, что Карабаш в 1996 г. был признан по всем государственным критериям зоной экологического бедствия. Проблемы города усугубляются и тем обстоятельством, что действующий медеплавильный комбинат, который почти за 100 лет существования выбросил на Карабаш более 12 млн т

вредных веществ и около 30 млн т промышленных отходов, связанных с добычей, обогащением и переработкой руд, расположен в городской черте. Благодаря инициативе уральских учёных, среди которых академик Е.Н. Аврорин (РФЯЦ–ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина), академик Г.П. Швейкин (ИХТТ УрО РАН), при поддержке Международного научно-технического центра (МНТЦ) была сформулирована программа всестороннего эколого-геохимического обследования Карабаша с позиций технологических методов. Поставлена задача химико-металлургического обоснования полной промышленной переработки отходов медеплавильного производства в целях реабилитации территории города при сохранении и укреплении действующего медно-металлургического производства. Ряд посвящённых решению этой проблемы проектов 2001–2007 гг., выполненных совместно РФЯЦ– ВНИИТФ (Н.М. Барышева) и ИХТТ УрО РАН (Г.П. Швейкин, Е.В. Поляков) позволил выбрать и обосновать новые технологические решения по глубокой переработке шлаков медеплавильного производства с получением концентрата высокочистого железа, железо-медного сплава для чёрной металлургии, каменнолитейной керамики для дорожного строительства, эффективных сорбентов для дезактивации донных отложений технических водоёмов радиохимических предприятий Уральского региона. Создание этих производств обеспечивало, по расчётам разработчиков, возможность полной переработки шлаков Карабашского медеплавильного комбината с дополнительным попутным извлечением из шлаков меди. Работы проведены на высоком техническом уровне, защищены патентами РФ, получили положительные отзывы правительства Челябинской области, зарубежных коллег и предпринимателей, финансировавших выполнение проектов со стороны МНТЦ [17].

Обширная научная, педагогическая и организационная деятельность академика Г.П. Швейкина, способствовавшая развитию фундаментальных основ современной керамической, металлургической и инструментальной промышленности, привела к формированию на Урале научной школы химии твёрдого тела. Под руководством Швейкина защитили диссертации 10 докторов и 30 кандидатов наук, среди которых представители академической и университетской науки (В.А. Переляев, А.Л. Ивановский, Б.В. Митрофанов, В.А. Жиляев) и крупные инженеры – руководители промышленных предприятий Уральского региона (Е.К. Плаксин, А.Д. Пельц).

Яркая научная, научно-организационная и общественная деятельность Г.П. Швейкина отмечена многими орденами и медалями, но высоко он ценил и присвоенное ему звание почётного доктора Уральского федерального университета им. первого президента России Б.Н. Ельцина и Северо-Кавказского федерального университета, а также звание “Почётного гражданина Свердловской области”.

Деятельность академика Г.П. Швейкина – пример научно-организационной работы высокого уровня в области неорганической химии, химии твёрдого тела, физикохимии, порошковой металлургии. Его научное наследие, его вклад в развитие исследовательских институтов и лабораторий ещё долгое время будут оказывать влияние на новые поколения учёных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вибе. Ф.И.* Тайны новых веществ. Из жизни академика Г.П. Швейкина // Вестник УрО РАН. Наука. Общество. Человек // 2004. № 1. С. 69–82; № 2. С. 53–63; № 3 С. 68 –78.
2. *Давыдов В.Н., Митрофанов Л.Д., Рыбаков С.В. и др.* УГТУ–УПИ: Люди. Годы. Управление. Вуз и личность. Екатеринбург: УГТУ, 2001.
3. Физтехи о физтехах (1949–1999). Екатеринбург: Ява, 1999.
4. *Алексеев В.В., Черешнев В.А.* 75 лет академической науки на Урале // Вестник РАН. 2007. № 9. С. 843–855.
5. *Алямовский С.И., Швейкин Г.П., Гельд П.В.* О низших окислах ниобия // Ж. неорган. химии. 1957. № 11. С. 2437–2444; *Гельд П.В., Швейкин Г.П.* Некоторые особенности углетермического восстановления пятиокиси ниобия // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. 1959. № 1. С. 44–49; *Швейкин Г.П., Гельд П.В.* Получение металлического ниобия из оксикарбидной смеси ниобия // Цветные металлы. 1961. № 4. С. 540–542.
6. Сектор депозитарного хранения архивных фондов УрО РАН Центральной научной библиотеки УрО РАН (СДХАФ ЦНБ УрО РАН). Ф. 8. Оп. 1. Д. 49. Л. 72–77.
7. Институт химии твёрдого тела УрО РАН. 70 лет / Отв. ред. Ю.Г. Зайнулин. Екатеринбург: УрО РАН, 2002.
8. *Швейкин Г.П.* Физико-химические исследования окислов, карбидов и оксикарбидов ванадия, ниобия и тантала: дис. ...доктор тех. наук. Свердловск, 1969.
9. СДХАФ ЦНБ УрО РАН. Ф. 8. Оп. 1. Д. 230. Л. 1–6.
10. Архив РАН. Ф. 1744. Оп. 1. Д. 54. Л. 54, 60, 81, 82.
11. *Любимов В.Д., Швейкин Г.П., Элинсон Д.С.* Композиционные материалы на основе карбонитридов титана // Фундаментальные науки – народному хозяйству. М.: Наука, 1990. С. 595–600.
12. *Швейкин Г.П., Калиниченко И.И., Штин А.П.* Способ переработки лейкоксеновых концентратов с получением раствора титанилсульфата и карбида кремния // Всероссийская конференция “Физико-химические проблемы создания керамики спе-

циального и общего назначения на основе синтетических и природных материалов". Сыктывкар, 1998. С. 167–179.

13. Способ получения диоксида титана: пат. 2122976 Рос. Федерация: МПК C01G 23/047 / Швейкин Г.П., Калиниченко И.И., Штин А.П.; патентообладатель ИХТТ УрО РАН. № 9711787725; заявл. 30.10.1997; опубл. 10.12.1998. Бюл. № 34.
14. *Швейкин Г.П., Николаенко И.В.* Переработка лейкоксенового концентрата и получение на его основе продуктов и материалов // Химическая технология. 2008. № 8. С. 394–401; Способ изготовления нагревателя для микроволновой печи: пат 2248338 Рос. Федерация: МПК C04B 35/565 / Швейкин Г.П., Николаенко И.В.; патентообладатель ИХТТ УрО РАН. № 2003117311/03; заявл. 09.06.2003; опубл. 20.03.2005. Бюл. № 8.
15. *Швейкин Г.П.* Получение ультрадисперсных соединений титана карботермическим восстановлением диоксида титана // Неорганические материалы. 1999. № 5. С. 587–590.
16. *Немцев М.* Риддерская концессия Лесли Уркварта. https://refdb.ru/look/1117589-pall.html
17. Project ISTC # №1817. Working out a Program of Remediation and Development of the City of Karabash by Implementing Technologies for Recovery of Its Technogenic Resources. ISTC. Moscow. 2004. http://server.ihim.uran.ru/files/lab/fhma/Project1872.pdf

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1179–1182

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ОРГАНИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

© 2021 г. А. И. Костяев[a,*], В. Н. Суровцев[a,], А. Л. Ронжин[a,***]**

[a] Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

**E-mail: galekos@yandex.ru*

***E-mail: vnsurovtsev@gmail.com*

****E-mail: info@spcras.su*

Поступила в редакцию 11.07.2021 г.
После доработки 15.07.2021 г.
Принята к публикации 19.07.2021 г.

Роботизированные и цифровые технологии в агропромышленном комплексе России становятся обычным атрибутом для многих сельхозпредприятий и передовых фермерских хозяйств. Повышая качество управления сложными производственными процессами, они позволяют минимизировать применение химических средств защиты и синтетических минеральных удобрений, ветеринарных и других препаратов, снизить нагрузку на окружающую среду, обеспечить высокое качество и безопасность сельхозпродукции, а также вести достоверный учёт всех ресурсов, задействованных в хозяйстве, что особенно актуально для крупных органических сельскохозяйственных предприятий. К такому выводу пришли участники Первой международной конференции “Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство” (ADOP-2021), состоявшейся 7–9 июня 2021 г. в Санкт-Петербурге в рамках мероприятий Года Германии в России.

Ключевые слова: цифровизация технологических процессов сельскохозяйственного производства, цифровизация органического животноводства и растениеводства, робототехнические комплексы в растениеводстве.

DOI: 10.31857/S0869587321120070

Главная цель международной конференции ADOP-2021 – консолидация междисциплинарных знаний в области сельского хозяйства, биологии, робототехники, информационных технологий и экономики для решения актуальных проблем цифровизации органического животно-

КОСТЯЕВ Александр Иванович – академик РАН, главный научный сотрудник ИАЭРСТ – СПб ФИЦ РАН, сопредседатель Первой международной конференции “Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство”. СУРОВЦЕВ Владимир Николаевич – кандидат технических наук, директор ИАЭРСТ – СПб ФИЦ РАН, сопредседатель организационного комитета Первой международной конференции “Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство”. РОНЖИН Андрей Леонидович – доктор технических наук, профессор РАН, директор СПб ФИЦ РАН, председатель программного комитета Первой международной конференции “Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство”.

водства и растениеводства на основе достижений фундаментальной науки и лучших практик агрокомпаний. Организаторами конференции выступили Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН и Технический университет Кайзерслаутерна (Германия) при участии Германского дома науки и инноваций в Москве (DWIH), спонсором – Акционерное общество "Российский сельскохозяйственный банк".

В связи с эпидемиологической ситуацией в мире ADOP-2021 прошла в смешанном формате – очно на базе СПб ФИЦ РАН и онлайн с трансляцией видеоконференции на канале Youtube и синхронным переводом на русский и английский языки. С целью демонстрации передовых технологий была организована выставка робототехнических систем, беспилотных летательных аппаратов и автономных тепличных комплексов аэропоники, разработанных в СПб ФИЦ РАН в рамках междисциплинарных исследований по цифровизации сельскохозяйственного производства.

В работе конференции приняли участие свыше 150 участников из 7 стран. Представленные на английском языке 32 доклада были опубликованы издательством "Springer" в Сборнике трудов конференции "Agriculture Digitalization and Organic Production" в серии книг "Smart Innovation, Systems and Technologies", индексируемой в ISI Proceedings, EI-Compendex, SCOPUS и Springerlink.

Приветственные письма к участникам конференции поступили от первого заместителя председателя Комитета по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Федерального Собрания Российской Федерации **С.Г. Митина** и председателя Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга **А.С. Максимова**.

В приветственном слове председателя программного комитета конференции, директора СПб ФИЦ РАН **А.Л. Ронжина** была подчёркнута важность и своевременность вовлечения инвесторов и финансовых институтов в жизненный цикл наукоёмких инновационных технологий агропромышленного комплекса, особенно в условиях рискованного сельскохозяйственного производства в Нечерноземье. Системная интеграция знаний, технологий, кадровых и финансовых ресурсов в междисциплинарных исследованиях органического производства и внедрение цифровых и роботизированных средств – ключевые факторы развития сельских территорий, способствующие решению проблем продовольственной безопасности, что требует государственной поддержки и привлечения в эту сферу специалистов науки, образования, бизнеса и банковского сектора.

На пленарном заседании под председательством академика РАН **А.И. Костяева** обсуждались проблемы развития цифровизации АПК и органического сельского хозяйства в России и странах Евразийского союза. В докладах подробно рассматривались вопросы совершенствования законодательства, освоения цифровых технологий в аграрной сфере и поддержки производства органической продукции в условиях новых вызовов.

В докладе "Направления и механизмы инновационного развития агропромышленного комплекса России", с которым выступил руководитель Всероссийского института аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова – филиала ФГБНУ ФНЦ аграрной экономики и социального развития сельских территорий ВНИИЭСХ академик РАН **А.В. Петриков,** был проанализирован уровень инновационного развития агропродовольственного сектора и его основные проблемы. Александр Васильевич отметил особую роль цифровых технологий в развитии сельского хозяйства в период пандемии, определил направления и механизмы совершенствования научно-технологической политики в АПК с целью ослабления зависимости от импорта технологий, подчеркнул необходимость преодоления неравномерности инновационного развития крупного и малого бизнеса. Предложенный докладчиком комплекс мер по развитию государственного и частного секторов сельскохозяйственной науки включает организацию национальной частно-государственной компании по внедрению результатов НИР в производство; создание в основных сельскохозяйственных зонах страны инновационно-технологических центров при аграрных НИИ и вузах; увеличение финансирования прикладных исследований и разработок; приоритетное предоставление льготных кредитов и компенсации капитальных затрат сельхозтоваропроизводителям, осваивающим результаты НИР.

Депутат Государственной думы, член Комитета по аграрным вопросам **С.В. Яхнюк** в докладе "Роль государства в инновационном развитии сельского хозяйства в Нечернозёмной зоне России" рассмотрел особенности процесса освоения инноваций и их вклад в развитие отраслей сельского хозяйства в Нечерноземье, отметил значение Ленинградской области как региона опережающего инновационного развития в аграрном секторе экономики; проанализировал эффективность федеральной и региональной поддержки инвестиций и освоения инноваций в отрасли региона. Оратор особо подчеркнул важность цифровизации сельского хозяйства для решения проблем продовольственной безопасности и производства экологически чистых продуктов, так как серия глобальных вызовов требует качественно иного уровня информационного обеспечения. Цифровые технологии при существующем уровне концентрации и интенсификации производ-

ства позволяют оперативно получать объективную и точную информацию о состоянии производственных объектов и сельскохозяйственных угодьях, их мелиоративном состоянии, что необходимо для планирования ремонтных или строительных работ и контроля за их выполнением, осуществлять мониторинг очагов засорения угодий многолетними сорняками и точечную обработку с минимальной экологической нагрузкой. Роботизированные и цифровые технологии в АПК России становятся обычным атрибутом для многих сельхозпредприятий и передовых фермерских хозяйств, поэтому импортозамещение в сфере роботизации и цифровизации сельского хозяйства были названы актуальной задачей науки.

Заместитель председателя Правительства и министр сельского хозяйства и продовольствия Удмуртской Республики **О.В. Абрамова** в докладе "Специфика государственной поддержки органического производства" остановилась на тенденциях развития органического сельского хозяйства в Удмуртии, особое внимание уделив расширению возможностей применения цифровых технологий при производстве органических продуктов, в частности в рамках проекта «Экоферма "Дубровское"». Особенность предприятия заключается в непрерывности производственного цикла: от выращивания кормов собственного производства до выпуска готовых молочных продуктов. Уже запущена молочно-товарная ферма на 1200 голов, цех по переработке молока с сыроварней, козоводческая ферма на 1000 голов, зерносушильный комплекс производительностью 30 т/ч. Экостатус предприятия подтверждён международным органическим сертификатом Euro-Leaf и российским органическим стандартом. Подчеркнув актуальность проблемы органического бизнеса – высокую себестоимость продукции, спикер отметила ключевую роль цифровых технологий в её снижении. На примере экофермы "Дубровское" были представлены результаты анализа эффективности системы государственного регулирования и поддержки органического сельского хозяйства в Удмуртской Республике, рассмотрены основные направления повышения эффективности производства органической продукции и её продвижения на мировой рынок и рынки мегаполисов России с высоким платёжеспособным спросом.

Заместитель директора по научной работе Института стратегических исследований Республики Башкортостан **А.Р. Кузнецова** в докладе "Инновации в сельском хозяйстве стран Евразийского экономического союза" отметила, что увеличение объёмов вносимых органических удобрений положительно влияет на развитие производства органической продукции, при этом следует иметь в виду дифференциацию применения органических удобрений в зависимости от группы культур. Особое внимание она уделила проблемам неоднородности инвестиций и инновационного развития производства аграрной продукции, в том числе органической, в странах Евразийского экономического союза. Представленный сравнительный анализ конкурентных преимуществ инновационного развития органического сельского хозяйства в странах ЕАЭС может быть использован для повышения обоснованности разрабатываемых планов и программ развития отечественного органического производства и продвижения этой продукции на рынок.

С докладом "Цифровая экосистема для предприятий АПК" выступил заместитель директора Санкт-Петербургского регионального филиала "Россельхозбанка" **О.В. Фомин.** "Россельхозбанк", работающий на рынке 20 лет, – системообразующая кредитная организация и опорный банк АПК. В 2020 г. он приступил к реализации стратегической концепции "Больше, чем Банк" и успешно развивает ряд цифровых проектов: экосистему "Своё Фермерство", маркетплейс свежих фермерских продуктов "Своё Родное", новую цифровую платформу по развитию сельских территорий "Своё Село". Руководитель аналитического Центра отраслевой экспертизы "Россельхозбанка" **А.В. Дальнов** представил сравнительный анализ потенциала производства конкурентоспособной органической продукции в различных сегментах АПК.

Во второй день конференции рассматривались проблемы освоения цифровых технологий и автоматизации процессов в молочной отрасли и сопутствующих направлениях.

Главный консультант GEA Farm Technologies RUS **Й. Эгберт** и специалист по управлению стадом при производстве молока в GEA FT **В. Вейманн,** представившие на конференции доклад "Автоматизация и цифровизация в сфере молочного производства", основное внимание уделили стандартизации рабочих процессов и цифровизации, повышающих эффективность производства и работу персонала с животными в стадах с большим поголовьем. Цифровые технологии помогают выявлять проблемы у животных на ранних стадиях, что уменьшает использование лекарств, сокращает время применения препаратов и лечения коров, снижает потери молока. С их помощью накапливается большой массив детальных данных о машинном доении, позволяющий контролировать и корректировать работу персонала в соответствии с требованиями стандартизации процессов производства. Кроме того, цифровые технологии повышают результативность производства и безопасность пищевых продуктов.

Генеральный директор ООО "Лейли Рус" **Й. Кейзер** в докладе "30 лет совершенствования роботи-

зированной системы молочного производства: опыт, проблемы, решения" обобщил данные по автоматизации молочного производства в России и за рубежом, рассмотрел влияние внедрения автоматизированных технологий и роботов на повышение удоев молока, производительности труда, сокращение штата, укрепление здоровья коров при росте молочной продуктивности. Докладчик обосновал необходимость непрерывности процесса освоения современных инновационных технологий в молочном животноводстве для сохранения конкурентоспособности.

Специалист компании "ДеЛаваль" по системам управления фермой, аспирант факультета ветеринарной медицины Университета Аделаиды (Австралия) **И.Е. Перов** в докладе "Роботизированные системы доения как смена управленческой парадигмы" рассказал о новых возможностях повышения качества принимаемых решений на основе ежедневных данных по каждой корове, что создаёт предпосылки внедрения проактивной модели управления фермой и принципиально меняет работу со стадом. Автоматизация производственных процессов, внедрение роботов и цифровых технологий позволяют выстроить работу на ферме с учётом физиологических потребностей коровы, способствуют повышению продуктивного долголетия стада.

Глава Российского офиса группы компаний "Кизельманн" **С.А. Баранов** в докладе "Цифровизация процессов глубокой переработки молока и управления молочными предприятиями" подчеркнул роль цифровых технологий в повышении качества управления молокоперерабатывающими предприятиями, соблюдении требований международных стандартов, обеспечении стабильности качества молочной продукции и экологической безопасности производства, расширении возможностей производства молочных продуктов будущего – продуктов, являющихся результатом глубокой переработки молока.

В ходе заключительного дня работы международной конференции ADOP-2021 рассматривались вопросы научного обеспечения разработок, связанных с применением робототехники и цифровых технологий в сельском хозяйстве.

Директор Института цифровой безопасности СПбГМТУ **Н.А. Грязнов** в докладе "Концепция функционально распределённого управления агророботами для реализации автономного режима" обратил внимание на проблемы супервизорного режима управления аграрными роботами, что предполагает минимизацию вмешательства оператора и требует расширения диапазона допустимых условий автономного функционирования. Учёный подчеркнул, что внедрение технических аналогов инстинктов, рефлексов и эмоций способно обеспечить новый уровень надёжности роботов, а также технологическую, экологическую и физическую безопасность.

Профессора Технического университета Кайзерслаутерна **К. Бернс** и **Т. Дэлман** в докладе "На пути к реалистичному моделированию для сельскохозяйственных роботов" сделали акцент на типичных сельскохозяйственных задачах и эффектах, которые необходимо моделировать для сельскохозяйственных роботов в имитационных средах.

При подведении итогов конференции выступающие отметили важность научных разработок в области цифровых технологий и роботизации для организации высокотехнологичного производства органической продукции, а также необходимость преодоления сложившегося стереотипа, что органическое производство продовольствия относится к архаичному типу. Цифровые технологии, повышая качество управления сложными производственными процессами, позволяют минимизировать применение химических средств защиты растений и синтетических минеральных удобрений, ветеринарных и других препаратов, снизить нагрузку на окружающую среду, обеспечить высокое качество и безопасность сельхозпродукции, а также вести достоверный учёт всех ресурсов, задействованных в хозяйстве, что особенно актуально для крупных органических предприятий.

Вторую Международную конференцию "Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство" решено провести 6–8 июня 2022 г. на базе Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра РАН.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1183–1186

В КОНЦЕ НОМЕРА

О КВАРТИЛЬНОМ РАНЖИРОВАНИИ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ

© 2021 г. О. В. Михайлов

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

E-mail: olegmkhlv@gmail.com

Поступила в редакцию 13.04.2021 г.
После доработки 26.04.2021 г.
Принята к публикации 28.04.2021 г.

В статье представлены принципы ранжирования научных журналов по квартилям Q1–Q4. Отмечено, что включение журнала в конкретный квартиль зависит не только от импакт-фактора, но и от научной области, к которой он отнесён в базах данных Web of Science и Scopus, вследствие чего одно и то же издание может присутствовать в разных квартилях. По мнению автора, ранжирование журналов по квартилям носит более объективный характер, чем по значениям импакт-факторов.

Ключевые слова: квартиль, процентиль, цитируемость, журнал, публикационная активность, Web of Science, Scopus.

DOI: 10.31857/S0869587321070100

Особенности нового критерия. В последние годы в наукометрии утвердился критерий оценки научных журналов в рамках “квартильной” системы, которая по замыслу её инициаторов призвана устранить недостатки ранжирования по импакт-фактору, связанные с тем, что в разных областях науки исторически сложились и продолжают использоваться разные подходы к цитированию. Для того чтобы эту разницу нивелировать, руководство базы данных Scopus предложило сгруппировать периодические издания по научным областям, составить соответствующие перечни, а уже в них ранжировать журналы по величинам импакт-фактора (в Scopus этот параметр именуется CiteScore) в порядке убывания последнего. Далее для каждого из журналов остаётся рассчитать так называемый процентиль P с использованием формулы

$$P = 100 - 100 \cdot (n/N),$$

где n – порядковый номер журнала в перечне, N – общее число журналов в данном перечне. Полученное при расчёте величины $100 \cdot (n/N)$ её значение округляется до ближайшего к нему целого числа, которое вычитается из 100, поэтому и P всегда оказывается целым числом. С учётом процентиля в каждом из “отраслевых” перечней были выделены четыре категории журналов, или четыре квартиля – от Q1 до Q4. При значении P в диапазоне 76–99 журнал включается в первый квартиль, то есть Q1, при процентиле 51–75 – в Q2, при 26–50 – в Q3, при значении P от 0 до 25 – в Q4.

Заметим, что некоторые журналы с учётом их междисциплинарного характера могут фигурировать в двух и более подобных “отраслевых” перечнях, вследствие чего иметь разные процентили. Например, издающийся в России международный журнал “Форсайт” (англоязычная версия – “Foresight and STI Governance”), имевший в 2019 г. импакт-фактор 1.30, включён в квартиль Q2; его процентиль в “отраслевом” перечне Economics, Econometrics and Finance составил 73, в то время как в перечне Social Sciences – 66. Более того, ситуация, когда одно и то же издание может быть отнесёно к разным квартилям, уже реальность. Так, издающийся в Великобритании международный журнал “Applied Geochemistry” в базе данных Scopus за 2018 г. в перечне Pollution имел процентиль 79, в перечне Geochemistry and Petrology – 75, а в Environmental Chemistry – 70. Как следует из этих цифр, в первом из указанных перечней он попадает в квартиль Q1, во втором – в “пограничную зону” между Q1 и Q2, тогда как в третьем – однозначно оказывается во втором квартиле.

Министерством науки и высшего образования РФ наукометрическое новшество было воспринято положительно, о чём свидетельствует направ-

МИХАЙЛОВ Олег Васильевич – доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии, сертификации и менеджмента качества КНИТУ.

ленное в вузы инструктивное письмо № МН-8/6-ск от 14.01.2020, согласно которому при оценке публикационной результативности образовательных учреждений предпочтение должно отдаваться статьям в журналах, индексируемых в Web of Science и отнесённых к квартилям Q1 и Q2. Эта рекомендация уже используется при аттестации и избрании или переизбрании профессорско-преподавательского состава в некоторых российских университетах. Например, в одном из них, по моим сведениям, с профессоров при переизбрании требуют предъявления как минимум двух публикаций за последние пять лет в журналах квартиля Q1.

Об адекватной наукометрической оценке научной деятельности. Отметим симптоматичное обстоятельство: наукометрию в недрах российского научного сообщества, мягко говоря, недолюбливают, причём по разным причинам. С одной стороны, это связано с непониманием как существа наукометрического подхода к оценке научной деятельности, так и связанных с ним параметров (в частности, популярного ныне "хирша", относительно которого, по моим наблюдениям, значительная часть сотрудников вузов и институтов РАН имеют весьма смутное представление). Это непонимание ведёт к неприятию. С другой стороны, использование наукометрии применительно к научным результатам конкретных учёных и преподавателей высвечивает весьма неприятную картину, ибо у многих из них показатели оказались не блестящими. Оценка особенно задела за живое тех сотрудников, которые заняты чисто педагогическим трудом, а научные исследования считают для себя делом обременительным, и таковых во многих российских вузах большинство. Ситуация усугубляется тем, что перестроиться с научно-педагогической деятельности на педагогическую относительно легко, а вот с педагогической на научно-педагогическую – много труднее. Ибо для этого требуется не только желание заниматься наукой, но и наличие ряда других условий, от среднестатистического преподавателя не зависящих. Прежде всего это сама возможность ведения научных исследований, немыслимых без современной специализированной приборной базы. Но даже если она есть, полученные с её применением данные ещё необходимо систематизировать и осмыслить, а затем изложить в статье или монографии. Если речь идёт о статье, то предпочтительнее, как уже сказано, её публикация в авторитетном российском (а еще лучше – в международном) научном издании, то есть в том, которое индексируются в международных базах данных цитируемости Web of Science и/или Scopus, причём отнесено к квартилям Q1 или Q2. А вот это уже под силу отнюдь не каждому преподавателю вуза и сотруднику научно-исследовательского института. Вот почему так удобно свои неуспехи в науке списывать на несправедливость наукометрических показателей, именно в них видя корень зла.

Недовольство незадачливых коллег критериями оценки их труда особенно усилилось в последнее время, когда в российских вузах, прежде всего в федеральных и национальных исследовательских университетах, стала вводиться рейтинговая система оценки деятельности преподавателей (решение было принято Союзом ректоров РФ ещё в 2012 г.). Показатели публикационной активности приобрели значительный вес на фоне других, включая и образовательную составляющую [1]. Коллизия ещё более обострилась, когда рейтинги преподавателей в отдельных российских вузах стали учитываться при определении уровня зарплаты. Негативизм усиливают многочисленные критические высказывания по поводу наукометрической оценки труда учёных. Например, математиков её критерии раздражают тем, что представители "царицы наук" по давней традиции не очень-то любят ссылаться на работы своих коллег, а потому и цитируемость учёных-математиков на фоне цитируемости, скажем, физиков или биологов, оказывается довольно низкой. А вот на публикационную активность учёных-гуманитариев в немалой степени влияют факторы, к науке отношения не имеющие, в частности, политические. К сожалению, именно политические факторы оказываются решающими, когда даже талантливые авторы из России получают отказ при попытке опубликовать свои статьи в международных журналах по истории или политологии, выпускающихся в странах Запада. Существуют и другие причины, затрудняющие публикацию статей гуманитарного и общественно-политического профиля в международных журналах с высоким рейтингом. Они связаны уже не с политическими предпочтениями, а со спецификой тематики исследований в этой сфере научного знания [2, 3]. А раз так, в общественных и гуманитарных науках из-за сильного влияния политического и других неблагоприятных для российских учёных факторов оценивать цитируемость и количество публикаций надо по иным алгоритмам, отличным от тех, что используются в науках, где влияние идеологии отсутствует или сведено к минимуму.

В связи с вышесказанным пристального внимания заслуживает цитируемость и связанный с ней "наукометрический авторитет" отечественных научных журналов.

О цитируемости российских научных журналов. Когда речь заходит об учёте числа публикаций, то в отчётных документах как российских федеральных государственных бюджетных образовательных учреждений высшего образования, так и федеральных государственных бюджетных учрежде-

ний науки принимаются во внимание в первую очередь публикации в журналах, имеющих достаточно высокую репутацию и востребованных мировым научным сообществом. Более десяти лет назад с подачи тогдашнего Минобрнауки РФ к таковым были отнесены научные издания, индексирующиеся в международных базах данных цитируемости Web of Science (WoS) и/или Scopus. Правда, приходится с грустью констатировать, что хотя, согласно оценке президента РАН А.М. Сергеева, в каждом из этих перечней фигурируют около 300 российских журналов, но лишь четыре из них входят в квартиль Q1 и семь – в квартиль Q2 [4]. Неслучайно в национальном проекте "Наука" в качестве одной из ключевых поставлена задача расширения не только перечня журналов, включённых в первые два квартиля, но и доли российских журналов (в %) в этих квартилях и, соответственно, в обеих международных базах данных цитируемости.

Необходимо изменить отношение к российским журналам в научном мире, освободить их от "мусорных" публикаций, чтобы они завоевали должный научный авторитет. Добиться этого трудно. Причина – не только весьма высокие планки, установленные администрациями WoS и Scopus для журналов, желающих получить прописку в базах данных, но и в том, что к цитированию российских журналов даже в их англоязычном варианте, не говоря уже о русскоязычном, учёные стран Запада не стремятся. Заимствовать (а то и просто красть) ценные идеи, присутствующие в статьях отечественных исследователей, – пожалуйста, а вот упоминать источники заимствования – извините. И потому настоятельное пожелание нашим учёным (не устаю это повторять): публикуйтесь в ведущих отечественных журналах. Они по возможности должны переводиться на английский язык, что будет способствовать их продвижению за рубежом. При таком подходе удастся сохранить как оригинальный русский научный язык, так и школу научного перевода. Нужно также постоянно заботиться о качестве статей, ибо именно оно – отражение уровня и авторитетности издания. И не забывать чаще цитировать статьи российских авторов из российских же журналов, ибо никто в мире за нас этого не сделает.

В связи с этим стоит напомнить, что ещё в начале 2000-х годов В.А. Маркусовой [5] был отмечен весьма красноречивый факт: американские авторы цитировали коллег (причём публиковавшихся преимущественно в американских же журналах) в 67% случаев своих цитирований, тогда как иностранных – в 33% (в том числе российских – не более чем в 5% случаев). А вот российские авторы цитировали американцев в 35% случаев, своих же соотечественников – вдвое реже (лишь в 17% случаев). Для сравнения: доля ссылок японцев на публикации их соотечественников в общем массиве цитирований достигала 37%, англичан – 30%, французов – 24% [5]. И хотя эти цифры характеризовали ситуацию рубежа веков, за прошедшие годы она едва ли претерпела сколько-нибудь значительные изменения.

В 2019 г. Российская академия наук опубликовала результаты опроса, проведённого среди действительных членов, членов-корреспондентов и профессоров РАН в связи с шестилетней годовщиной начала её реформирования. Задавался вопрос и о выборе критериев оценки уровня научных исследований в нашей стране. И вот что показательно: хотя наукометрию недолюбливают не только в российских вузах, но и в академической среде (пусть и по несколько иным причинам), 44.5% участников опроса поставили на первое место по значимости именно уровень цитирования российских учёных, фиксируемый международными базами данных. Тем самым подтвердилась значимость публикаций именно в высокорейтинговых журналах, потому что, как правило, только благодаря им и возможно обеспечить высокую валовую цитируемость. Справедливости ради надо отметить, что вопрос о необходимости публикаций в журналах квартилей Q1 и Q2 занял четвёртую по значимости позицию с 33.5% голосов, пропустив вперёд пункты "затраты на обеспечение рабочего места учёного" (36.7%) и "доля молодых учёных, остающихся работать в науке после получения учёной степени" (34.5%). В то же время такие немаловажные позиции, как "количество монографий по тематике фундаментальной науки" и "количество защищаемых кандидатских и докторских диссертаций" набрали значительно меньшее количество голосов (10.0% и 9.8% соответственно) [4].

Рискну предположить, что будь подобный опрос проведён среди профессоров и доцентов любого вуза, наибольшее число голосов получила бы позиция "затраты на обеспечение рабочего места учёного", но однозначно не позиции, касающиеся публикаций в высокорейтинговых журналах или цитируемости научных работ. В пользу такого предположения говорит уже то, что любой работник высшей школы, независимо от научных достижений, вправе задать вопрос: а зачем преподавателю вуза вменять в обязанность заниматься наукой и тем более поощрять за это, если основная его задача – учить студентов? Это действительно так, и тем не менее, нравится кому-то или нет, но в мировой практике преподавания в высшей школе сформировалось устойчивое и, на мой взгляд, вполне обоснованное мнение, что преподаватель должен стремиться преподносить студентам знания, связанные с современными достижениями в соответствующей области науки. А для этого он сам должен быть в курсе этих достижений, что, в свою очередь, предполагает и

личное участие в научных исследованиях. И ещё один не менее значимый фактор. В условиях жёсткой конкуренции в образовательной сфере авторитет вуза в решающей степени определяется его научной значимостью, то есть научными достижениями, становящимися достоянием общественности благодаря публикациям в авторитетных научных изданиях [6]. Эти показатели учитываются в российских и международных рейтингах высших образовательных учреждений [7].

Стоит отметить, что в зарубежных университетах и институтах не кичатся образовательными программами по преподаваемым в них дисциплинам, а при заключении контракта с преподавателем (в первую очередь с претендентом на должность профессора) решающее значение придаётся его публикационной активности. Именно она служит фактором оценки деятельности не только конкретного преподавателя, но и учреждения в целом. Так что повышенное внимание к наукометрическим показателям, исходящее от Минобрнауки РФ, представляется мне вполне обоснованным. Наука – феномен мирового масштаба, и здесь нам приходится играть по принятым в мире правилам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Михайлов О.В.* Опыт определения рейтинга преподавателя с учётом его публикационной активности // Высшее образование в России. 2016. № 10. С. 71–78.
2. *Yurevich A.V.* On the Problem of Assessing the Contribution of Russian Social Sciences and Humanities to World Science // Herald of the RAS. 2011. № 4. P. 406–414; *Юревич А.В.* К проблеме оценки вклада российской социогуманитарной науки в мировую // Вестник РАН. 2011. № 7. С. 613–625.
3. *Михайлов О.В.* О принципах и специфике цитируемости в естественных и гуманитарных науках // Вестник РАН. 2016. № 2. С. 189–192.
4. Наукометрия: за и против. http://www.sib-science.info/ru/ras/naukometriya-za-i-protiv (дата обращения 13.04.2021).
5. *Маркусова В.А.* Цитируемость российских публикаций в мировой научной литературе // Вестник РАН. 2003. № 4. С. 291–298.
6. *Попова Н.Г., Меренков А.В., Шкуркин Д.В.* Национальная специфика российских научных журналов в контексте их продвижения в международные базы данных // Социология науки и технологий. 2018. № 2. С. 31–48.
7. *Николаенко Г.А., Фёдорова А.А.* Российские университеты в мировых рейтингах: успехи, провалы, перспективы // Социология науки и технологий. 2017. № 1. С. 96–112.

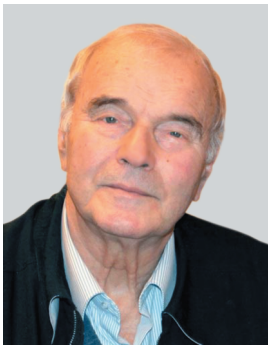
ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1187–1193

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

10.31857/S0869587321380011

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ П.Н. ЛЕБЕДЕВА 2021 ГОДА – А.А. КАПЛЯНСКОМУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. П.Н. Лебедева 2021 года академику РАН Александру Александровичу КАПЛЯНСКОМУ за цикл работ “Фотонно-кристаллические опалоподобные структуры: синтез и исследования оптических свойств”.

А.А. Каплянский – инициатор изучения фотонных кристаллов в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, автор пионерской идеи об использовании опалов в качестве трёхмерных фотонных кристаллов. При его непосредственном участии и руководстве удалось поставить задачи мирового уровня, решение которых позволило существенно углубить фундаментальные знания о механизмах взаимодействия света с фотонно-кристаллическими структурами и стимулировать новые научные и практические разработки в этой области.

Путём изменения диэлектрической проницаемости жидких заполнителей опалов продемонстрирован эффект селективного выключения фотонной запрещённой зоны и показано, что этот эффект обусловлен неоднородной диэлектрической структурой микросфер a-SiO_2. Впервые осуществлено и теоретически описано сверхбыстрое (30 фс) оптическое переключение в фотонном кристалле на основе композита Si-опал, которое инициировано фотовозбуждением в кремнии короткоживущих носителей заряда.

Цикл работ по синтезу и исследованию различных фотонных кристаллов на основе решётки прямого и инвертированного опала, выполненный А.А. Каплянским с коллегами из разных стран, – прекрасный пример постановки новой перспективной задачи и её комплексного решения. Приоритет полученных результатов в этой области признан во всём мире.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА 2021 ГОДА – В.И. КИРЮШИНУ

Президиум РАН присудил золотую медаль им. В.В. Докучаева 2021 года академику РАН Валерию Ивановичу КИРЮШИНУ за серию работ “Почвенно-экологическое обеспечение адаптивно-ландшафтного земледелия и природопользования”.

Удостоенная медали серия включает 12 монографий и 35 статей в научных изданиях, в которых получило обоснование и развитие новое направление агрономического почвоведения и сформулирована теория адаптивно-ландшафтного земледелия и его практического освоения.

На основе обширного экспериментального материала В.И. Кирюшин установил закономерности почвообразования и трансформации черноземных и солонцовых почв Сибири и Казахстана под влиянием различных систем их использования. Разработаны методология агроэкологической оценки земель, их типизации и группировки, почвенно-ландшафтного картографирования и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия в агрогеоинформационных системах. Обоснованы новые подходы к планированию и проектированию сельскохозяйственных ландшафтов в соответствии с классификацией их экологических и социально-экономических функций.

В представленной серии исследований получили развитие заложенные В.В. Докучаевым принципы рационального природопользования и ландшафтно-экологические основы агропроизводства. Предложенная В.И. Кирюшиным теория следует идеологии устойчивого развития сельскохозяйственного производства, позволяет проектировать продуктивные агроландшафты.

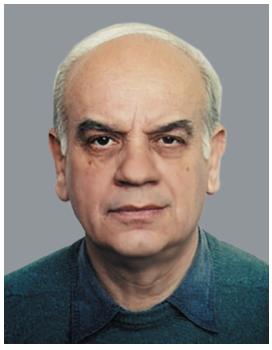
ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Н.Н. БУРДЕНКО 2021 ГОДА – В.В. КРЫЛОВУ

Президиум РАН присудил золотую медаль имени Н.Н. Бурденко 2021 года академику РАН Владимиру Викторовичу КРЫЛОВУ за исследование “Разработка и внедрение инновационных методов диагностики и хирургического лечения тяжёлой черепно-мозговой травмы”.

Представленная академиком РАН В.В. Крыловым работа посвящена изучению патогенеза и эпидемиологии черепно-мозговой травмы, разработке новых методов хирургического лечения тяжёлой ЧМТ и острого дислокационного синдрома, хирургической тактике при различных анатомических формах повреждения мозга, вопросам организации лечения пострадавших с ЧМТ.

Исследования, выполненные В.В. Крыловым и его сотрудниками, внесли новые знания в диагностику и хирургическое лечение тяжёлой ЧМТ, позволили улучшить организацию работы отделений неотложной нейрохирургии, улучшить исход тяжёлой ЧМТ.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Л.В. КЕЛДЫША 2021 ГОДА – В.Б. ТИМОФЕЕВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. Л.В. Келдыша 2021 года академику РАН Владиславу Борисовичу ТИМОФЕЕВУ за выдающиеся работы по физике многочастичных систем в твёрдых телах.

В.Б. Тимофеев – выдающийся специалист в области физики многочастичных состояний в полупроводниках и твёрдых телах, физики конденсированного состояния. Как известно, эти направления были либо инициированы, либо существенно развиты Л.В. Келдышем.

Работы лауреата включают:

исследования в классических полупроводниках германии и кремнии фазовых диаграмм конденсации экситонов в металлическую электронно-дырочную жидкость, заложившие основы термодинамики неравновесных электронно-дырочных систем в полупроводниках;

экспериментальное подтверждение формирования экситонных поляритонов в прямозонном полупроводнике и изучение их дисперсии;

экспериментальную реализацию нового квантового объекта – спин-ориентированного газа экситонов и изучение его квантовых статистических свойств, а также проявление бозе-эйнштейновской конденсации в экситонной системе;

исследования свойств многочастичных электрон-дырочных состояний в полупроводниковых квантовых точках и доказательство их оболочного строения;

исследования методом неупругого рассеяния света фононных состояний и надщелевых возбуждений в высокотемпературных сверхпроводниках, обнаружение сильной анизотропии щели в этих объектах;

разработку нового направления – магнитооптики низкоразмерных электронных систем в одиночных гетеропереходах и квантовых ямах, измерения кулоновских щелей в энергетическом спектре двумерных электронов, которые возникают в лафлиновской Ферми-жидкости в режиме дробного квантового эффекта Холла;

обнаружение вигнеровской кристаллизации двумерных электронов, которая наблюдалась в ультраквантовом пределе в сверхсильном магнитном поле;

обнаружение бозе-эйнштейновской конденсации диполярных экситонов в одиночных и двойных квантовых ямах, а также магнитоэкситонов в режиме квантового эффекта Холла, исследования когерентных свойств конденсатов.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Н.Н. СЕМЁНОВА 2021 ГОДА – В.Е. ФОРТОВУ

Президиум РАН присудил золотую медаль имени Н.Н. Семёнова 2021 года академику РАН Владимиру Евгеньевичу ФОРТОВУ (посмертно) за большой вклад в развитие химической физики.

Академик РАН В.Е. Фортов – выдающийся советский и российский учёный в области мощных ударных и детонационных волн, физики плазмы, энергетики и физической механики. Он один из самых ярких представителей научной школы лауреата Нобелевской премии Н.Н. Семёнова, внёсший большой вклад в развитие химической физики.

Научные достижения В.Е. Фортова связаны с развитием фундаментальных работ в области плазмы и физики экстремальных состояний вещества. Им разработаны динамические методы генерации состояний вещества с экстремально высокими параметрами, созданы генераторы ударных волн, проведены пионерские исследования в области динамической физики экстремальных давлений и температур неидеальной плазмы. В.Е. Фортовым развита общая теория построения широкодиапазонных уравнений состояния вещества, разработаны новые методы преобразования химической энергии в энергию электромагнитного излучения и электрическую энергию, исследованы процессы, происходящие при импульсном воздействии на материалы мощных потоков направленной энергии.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ М.В. КЕЛДЫША 2021 ГОДА – Б.Н. ЧЕТВЕРУШКИНУ

Президиум РАН присудил золотую медаль имени М.В. Келдыша 2021 года академику РАН Борису Николаевичу ЧЕТВЕРУШКИНУ за выдающиеся результаты в области прикладной математики и механики.

Б.Н. Четверушкин – крупный специалист в области прикладной математики, параллельных вычислений и математического моделирования, автор более 370 научных публикаций, в том числе 4 монографий. Им разработаны алгоритмы для решения задач динамики излучающего газа, в том числе оригинальный метод лебеговского осреднения по частоте фотонов и α-β итерационный метод решения систем сеточных уравнений. Эти методы применялись для моделирования важных научных, технических и оборонных задач.

Академиком Четверушкиным предложен новый подход к решению задач газовой динамики – кинетические разностные схемы. В отличие от других методов этот алгоритм в явном виде использует связь между кинетическим и газодинамическим описанием сплошной среды. Как показали исследования, проведённые в последние годы, этот подход показал свою эффективность при решении задач магнитной гидродинамики и высокотемпературной газодинамики.

Б.Н. Четверушкин – основатель научной школы, разрабатывающей модели, алгоритмы и математическое обеспечение, которые позволяют успешно моделировать на высокопроизводительных многопроцессорных системах научные и технические задачи. В 2010 г. на основе этих научных подходов был создан и введён в эксплуатацию оригинальный гибридный вычислительный комплекс К-100.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ В.С. ПУСТОВОЙТА 2021 ГОДА – Я.Н. ДЕМУРИНУ

Президиум РАН присудил золотую медаль им. В.С. Пустовойта 2021 года доктору биологических наук Якову Николаевичу ДЕМУРИНУ (Федеральный научный центр "Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта") за разработку и реализацию концепции генетических основ селекции подсолнечника по хозяйственно ценным признакам.

Я.Н. Демурин – ведущий учёный в области биохимической генетики липидов и научных основ селекции подсолнечника. При его непосредственном участии впервые в мире изучены и включены в практическую селекцию мутации состава токоферолов в семенах подсолнечника. Эта работа является пионерской для всех масличных культур.

Я.Н. Демурин доказал, что признак высокого содержания олеиновой кислоты контролируется одним доминантным геном *Ol* с неполной пенетрантностью в гетерозиготе. Также продемонстрировано использование рецессивных мутаций состава токоферолов в семенах как биохимических маркеров генетической чистоты в семеноводстве линий и гибридов подсолнечника.

Результаты своих фундаментальные исследований Я.Н. Демурин успешно воплотил в селекционную практику. Он соавтор первого в мире гибрида подсолнечника Краснодарский 917 (1994) с повышенным содержанием токоферола в семенах, а также высокоолеинового и токоферольного гибрида Окси (2014) с максимальной для известных культур окислительной стабильностью масла, что перспективно в создании натуральных высокоустойчивых к окислению продуктов питания. Это направление исследований стало творческим развитием селекции, проводившейся академиком В.С. Пустовойтом на высокую масличность семян и селекционером К.И. Солдатовым на высокоолеиновость масла.

Я.Н. Демурин сыграл решающую роль в теоретическом обосновании и создании первых отечественных гибридов подсолнечника Имидж и Арими (2014), устойчивых к гербицидам имидазолинового ряда для выращивания растений по технологии Clearfield. В своих работах лауреат уделяет большое внимание созданию, изучению и поддержанию генетической коллекции подсолнечника, включая вертикальнолистные линии и гибриды для выращивания в загущённых посевах, а также декоративные сорта с невосстанавливаемой ЦМС Helianthus rigidus L.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ А.Д. САХАРОВА 2021 ГОДА – В.Ф. МУХАНОВУ

Президиум РАН присудил золотую медаль имени А.Д. Сахарова 2021 года профессору Вячеславу Фёдоровичу Муханову (Мюнхенский университет Людвига-Максимилиана, Германия) за пионерский вклад в квантовую теорию образования крупномасштабной структуры Вселенной.

Видимая Вселенная однородна и изотропна на больших пространственных масштабах, в то же время на сравнительно малых масштабах наблюдаются неоднородности в виде галактик и скоплений галактик, образующих крупномасштабную структуру Вселенной. Для образования звёзд, планетарных систем и в конце концов человека необходимо, чтобы во Вселенной сформировались галактики. В трёх основополагающих работах В.Ф. Муханов совместно с Г.С. Чибисовым предложил физический источник пространственной неоднородности материи – квантовые флуктуации в инфляционной Вселенной. В последующих работах Вячеславом Фёдоровичем была построена полная теория развития неоднородностей в расширяющейся Вселенной, великолепно согласующаяся с космологическими наблюдениями и являющаяся краеугольным камнем современной космологии. Отдельно стоит отметить, что это не только позволяет определять с высокой точностью параметры, характеризующие современную Вселенную, но и заглянуть в самую раннюю Вселенную и изучить физику инфляционного этапа развития Вселенной, предшествующего эпохе горячей Вселенной, и делающего её пространственно плоской и однородной на больших масштабах.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ В.И. ВЕКСЛЕРА 2021 ГОДА – С.А. ГАВРИЛОВУ, В.А. ГАЙДАШУ, А.В. ФЕЩЕНКО

Президиум РАН присудил премию имени В.И. Векслера 2021 года кандидату физико-математических наук Сергею Александровичу Гаврилову, Виктору Александровичу Гайдашу, доктору физико-математических наук Александру Владимировичу Фещенко (Институт ядерных исследований РАН) за цикл исследований “Разработка и создание нового класса устройств диагностики структуры сгустков пучка в линейных ускорителях ионов”.

Цикл объединяет разработку, создание, внедрение и практическое освоение нового класса технических устройств диагностики (детекторов) и экспериментальных методов измерений продольных характеристик пучка на их основе для современных линейных ускорителей ионов. Принцип действия детектора базируется на преобразовании временно́й (продольной) структуры пучка в регистрируемое пространственное распределение вторичных низкоэнергетических электронов от тонкой проволочной мишени. Используется высокочастотная развёртка электронов в поперечном направлении, синхронная с ускоряющим полем. В различных модификациях средств и методов диагностики (их более 30) измеряются и используются при настройке ускорителя такие продольные характеристики пучка, как его временна́я микроструктура (фазовый спектр), трёхмерное распределение плотности заряда, гало (ореол), продольный фазовый объём, средняя скорость.

Разработки применены в широком диапазоне энергий (2.5 МэВ–1 ГэВ), типов ионов (протоны, отрицательные ионы водорода, многозарядные ионы) и величин импульсного тока пучка (1 мкА – 100 мА), имеют международное признание и успешно внедрены в ведущих ускорительных центрах России, США, Швейцарии, Германии и Японии.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.А. БОЧВАРА 2020 ГОДА – М.Е. ИСАЕНКОВОЙ

Президиум РАН присудил премию им. А.А. Бочвара 2020 года доктору физико-математических наук Маргарите Геннадьевне ИСАЕНКОВОЙ (Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”) за совокупность работ “Исследование закономерностей формирования структуры и кристаллографической текстуры в изделиях из сплавов на основе циркония при пластической деформации и термообработке и прогнозирование на их основе физико-механических свойств”.

Научные работы М.Г. Исаенковой посвящены изучению механизмов и закономерностей формирования текстуры в циркониевых сплавах, знание которых – необходимое условие получения изделий с заданной анизотропией свойств, определяющих их радиационную стойкость. Полученные результаты составляют надёжную базу для разработки рекомендаций по технологическим схемам и режимам, обеспечивающим получение изделий из циркониевых сплавов с заданными уровнем и анизотропией физико-механических свойств. Автором разработана концепция структурообразования в металлических материалах, что позволило значительно расширить представления о процессах производства одного из ключевых материалов атомной техники.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Л.И. МАНДЕЛЬШТАМА 2021 ГОДА – А.М. КАМЧАТНОВУ

Президиум РАН присудил премию имени Л.И. Мандельштама 2021 года доктору физико-математических наук Анатолию Михайловичу КАМЧАТНОВУ (Институт спектроскопии РАН) за цикл работ по теории дисперсионных ударных волн.

Исследования А.М. Камчатнова представляют собой существенное развитие теории бесстолкновительных ударных волн, восходящей к классическим работам Р.З. Сагдеева, А.В. Гуревича и Л.П. Питаевского. В основе удостоенных премии работ лежит метод Уизема, применяемый как к интегрируемым, так и неинтегрируемым нелинейно-волновым моделям. Вывод уравнений Уизема был существенно усовершенствован, что привело к созданию эффективного рабочего аппарата для решения ряда физически важных задач: совместно с соавторами получена классификация распадов начальных разрывов в так называемой “невыпуклой” дисперсионной гидродинамике; объяснены эксперименты Э. Корнелла по динамике бозе-эйнштейновского конденсата как проявление формирования дисперсионной ударной волны; предсказано образование косых солитонов в течении конденсата мимо препятствия внутри конуса Маха, что впоследствии было подтверждено в экспериментах по наблюдению в поляритонном конденсате; для двухкомпонентных конденсатов дан полный анализ волновых структур, возникающих при опрокидывании волны поляризации. Для класса “квазипростых” ударных волн был развит метод, позволяющий рассчитать динамику краёв дисперсионной ударной волны при произвольной начальной форме импульса и найти число солитонов, на которые распадается локализованный начальный импульс при асимптотически больших временах.

Работы А.М. Камчатнова внесли фундаментальный вклад в теорию дисперсионных ударных волн, которая превратилась в один из важнейших и наиболее развитых разделов современной нелинейной физики.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.Ф. КОНИ 2021 ГОДА – В.В. ЛАЗАРЕВУ

Президиум РАН присудил премию имени А.Ф. Кони 2021 года доктору юридических наук Валерию Васильевичу ЛАЗАРЕВУ (Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ) за серию научных работ, посвящённых исследованию общей теории права и её практическому воплощению в реальных общественных отношениях.

В удостоенной премии серии изложены актуальные результаты комплексного междисциплинарного нормативно-ценностного анализа государственно-правовых институтов, общей теории права и её практического воплощения в реальных общественных отношениях, ориентированные на разрешение фундаментальных вопросов правовой политики Российской Федерации. В серии научных работ В.В. Лазарева последовательно обосновывается интегративный подход к пониманию права, раскрываемый как на уровне общей теории права, так и на уровне отраслевых юридических наук и юридической практики.

Проведённые исследования дают основания для более широкого восприятия права – как неотъемлемого элемента любой цивилистической системы. Выводы автора на основе серьёзных философских и научных обобщений позволяют по-новому взглянуть на многие фундаментальные проблемы теории и практики права, формируют новые направления исследований и, несомненно, вносят значимый вклад в развитие отечественной правовой мысли.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ В.О. КЛЮЧЕВСКОГО 2021 ГОДА – Б.Н. МИРОНОВУ

Президиум РАН присудил премию им. В.О. Ключевского 2021 г. доктору исторических наук Борису Николаевичу МИРОНОВУ (Санкт-Петербургский государственный университет) за монографию “Российская империя: от традиции к модерну” (в 3-х томах).

Монография обобщает результаты отечественной и зарубежной историографии по социально-экономической истории имперской России. Без преувеличения можно сказать, что это уникальное фундаментальное системное исследование социально-экономической истории России с конца XVII в. до 1917 г. Под углом зрения модернизации рассмотрен широкий круг проблем: колонизация, территориальная экспансия и национальный вопрос, демографические проблемы и переход от традиционной к современной модели воспроизводства населения, социальная структура и мобильность населения и т.д. Оригинальные интерпретации основываются на строгом научном анализе огромного фактического материала, включая новые архивные данные и массовые статистические источники.

Автор применяет междисциплинарный и сравнительно-исторический подходы. При всём разнообразии тем и сюжетов монографию отличает целостность, тесная взаимосвязь глав друг с другом и с общим замыслом. Развитие страны в период империи оценивается как в целом успешное, политика правительства – как прагматичная, достижения страны – значительные, вектор движения – как модернизационный. Б.Н. Миронов отстаивает точку зрения, согласно которой Россия – это великая держава с объяснимым прошлым, развивающаяся по европейскому сценарию, хотя и с выраженными национальными особенностями.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ И.В. ГРЕБЕНЩИКОВА 2021 ГОДА – М.М. СЫЧЁВУ

Президиум РАН присудил премию имени И.В. Гребенщикова 2021 года доктору технических наук Максиму Максимовичу СЫЧЁВУ (Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) за цикл работ “Кислотно-основные характеристики поверхности и управление свойствами кристаллических, стеклообразных и композиционных материалов”.

Представленный цикл работ вносит основополагающий вклад в разработку новых кристаллических, стеклообразных и композиционных материалов электронной техники с высокими служебными характеристиками. Проведённые исследования позволили М.М. Сычёву сформулировать новое направление – управление свойствами гетерогенных систем путём регулирования как объёмных характеристик компонентов, так и межфазных процессов с участием поверхности твёрдого тела.

Прослежена количественная взаимосвязь между кислотно-основными (химическими) свойствами поверхности проводников, полупроводников и диэлектриков и физическими свойствами композитов на их основе (электропроводность, порог перколяции, тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость, интенсивность и спектральные характеристики люминесценции). Обосновано прогнозирование диэлектрической проницаемости композитов на основе модифицированной формулы Лихтенеккера, в которую введён параметр, отражающий интенсивность межфазовых взаимодействий.

Предложена и обоснована концепция управления составом и структурой твердотельных материалов нетепловыми методами воздействия – радиационным, ударно-волновым и плазмохимическим. Разработаны новые фото-, катодо-, электро- и радиолюминесцентные кристаллические, стеклообразные и композиционные материалы для средств отображения информации, дефектоскопии, светодиодных, катодо- и радиолюминесцентных источников света и энергии, конденсаторных структур и других изделий электронной техники.

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2021, том 91, № 12, с. 1194–1200

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В “ВЕСТНИКЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК”, 2021, № 1–12

DOI: 10.31857/S0869587321120136

Научная сессия Общего собрания членов РАН “75 лет атомной отрасли. Вклад Академии наук”. № 5.

Синтез науки и технологий завтрашнего дня

Приветствие Президента Российской Федерации *В.В. Путина* участникам Общего собрания Российской академии наук

Приветственный адрес заместителя председателя Правительства Российской Федерации *Д.Н. Чернышенко*

Вступительное слово президента РАН академика *А.М. Сергеева*

Выступление министра науки и высшего образования РФ *В.Н. Фалькова*

Выступление министра здравоохранения РФ *М.А. Мурашко*

Выступление генерального директора Госкорпорации “Росатом” *А.Е. Лихачёва*

Р.И. Илькаев, Л.Д. Рябев. Академия наук и Атомный проект в СССР

В.Е. Фортов, Р.И. Илькаев, Г.Н. Рыкованов, В.Д. Селемир, Б.Ю. Шарков. Взрывы, мощные ударные волны и экстремальные состояния вещества

С.Г. Гаранин, С.В. Гарнов, А.М. Сергеев, Е.А. Хазанов. Мощные лазеры для физики высоких плотностей энергии

С.Н. Лебедев, Б.Н. Четверушкин, Р.М. Шагалиев. Вычислительные и информационные технологии в атомной отрасли

Е.О. Адамов, В.Г. Асмолов, Л.А. Большов, В.К. Иванов. Двухкомпонентная ядерная энергетика

Б.Ф. Мясоедов, С.Н. Калмыков, А.Ю. Шадрин. Химические технологии замыкания ядерного топливного цикла

Е.П. Велихов, В.И. Ильгисонис. Перспективы термоядерных исследований

А.В. Дуб, А.И. Рудской. Новые материалы для ядерной энергетики

Н.Н. Пономарёв-Степной. Атомно-водородная энергетика

Научная сессия Общего собрания членов РАН “75 лет атомной отрасли. Вклад Академии наук”. № 6.

А.А. Саркисов. Некоторые исторические уроки создания отечественной корабельной ядерной энергетики

Ю.Г. Драгунов. Космическая ядерная энергетика

В.В. Петрунин. Реакторные установки для атомных станций малой мощности

А.Д. Каприн, В.П. Смирнов. Ядерная медицина

Л.А. Ильин, А.С. Самойлов. Роль радиобиологии и радиационной медицины в обеспечении защиты от воздействия ионизирующих излучений (отечественный опыт)

А.Г. Арбатов. Глобальная стабильность в ядерном мире

С.М. Рогов. Глобальная и региональная стабильность в ядерном мире

Академия наук выдвигает задачу интеллектуальной мобилизации страны. *Общая дискуссия*

Научная сессия общего собрания членов РАН “Вклад академической науки в развитие космической отрасли”. № 11.

Вступительное слово президента РАН академика *А.М. Сергеева*

Выступление генерального директора государственной корпорации “Роскосмос” *Д.О. Рогозина*

Приветствие экипажа космического корабля “Союз МС-18” космонавтов *Олега Новицкого* и *Петра Дуброва*

Приветственное слово заместителя председателя Правительства Российской Федерации по вопросам оборонно-промышленного комплекса *Ю.И. Борисова*

М.Я. Маров. Основоположники практической космонавтики С.П. Королёв и М.В. Келдыш

Ю.М. Батурин. Академия наук и космос. Исторические аспекты

В. А. Соловьёв, А. А. Коваленко. Пилотируемая космонавтика: достижения и перспективы

А. И. Григорьев, О. И. Орлов, В. М. Баранов. Космическая медицина. Научные основы, достижения и вызовы

А.С. Коротеев. Использование ядерной энергии в космических системах

Р.А. Сюняев. Орбитальная обсерватория “Спектр-РГ”: карты неба в рентгеновских лучах

Л.М. Зелёный, А.В. Захаров, И.А. Кузнецов, А.В. Шеховцова. Лунная пыль как фактор риска при исследовании Луны

Н. А. Тестоедов, С. Н. Карутин. Космическая геодезия, связь и навигация: история развития, состояние и перспективы

“Вклад академической науки в развитие космической отрасли”. *Постановление научной сессии общего собрания членов РАН*

Общая дискуссия

Общее собрание членов РАН. № 1.

Вступительное слово президента РАН *А.М. Сергеева*

Выступление министра науки и высшего образования РФ *В.Н. Фалькова*

О реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации и важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными в 2019 году
Доклад президента РАН академика РАН А.М. Сергеева

О работе президиума РАН за отчётный период
Доклад главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН Н.К. Долгушкина

Общее собрание членов РАН. № 10.

Выступление заместителя председателя Правительства РФ *Д.Н. Чернышенко*

Выступление министра науки и высшего образования РФ *В.Н. Фалькова*

Выступление председателя комитета Совета Федерации по науке, образованию и культуре *Л.С. Гумеровой*

Выступление заместителя министра иностранных дел РФ *С.А. Рябкова*

Выступление первого заместителя председателя комитета Государственной думы по образованию и науке *Г.Г. Онищенко*

О приоритетных направлениях деятельности РАН по реализации государственной научно-технической политики в Российской Федерации и важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными в 2020 году. *Доклад президента РАН академика РАН А.М. Сергеева*

Обращение лауреата Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова РАН 2020 года *Д.У. Милнора*

Топология в теоретической физике. *Доклад лауреата Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова РАН 2020 года С.П. Новикова*

О работе президиума РАН за отчётный период. *Доклад главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН Н.К. Долгушкина*

О работе Дальневосточного отделения РАН в 2020 году. *Выступление председателя Дальневосточного отделения РАН академика РАН В.И. Сергиенко*

О работе Сибирского отделения РАН в 2020 году. *Выступление председателя Сибирского отделения РАН академика РАН В.Н. Пармона*

О работе Уральского отделения РАН в 2020 году. *Выступление председателя Уральского отделения РАН академика РАН В.Н. Чарушина*

Выступления участников Общего собрания членов РАН: академиков РАН *А.Н. Дмитриевского*, *Б.С. Кашина*, председателя Профсоюза работников РАН *В.П. Калинушкина*, профессора РАН *Т.А. Нестика*

Об основных результатах работы РАН в 2020 году и о приоритетных направлениях её деятельности. *Постановление Общего собрания членов РАН*

Поправка к статье А.Г. Арбатова “Глобальная стабильность в ядерном мире”

Тематический выпуск журнала “Вестник Российской академии наук” по демографическим проблемам. № 9.

Вступительное слово

С.В. Рязанцев, Л.Л. Рыбаковский. Демографическое развитие России в XX–XXI веках: историческое и геополитическое измерения

И.П. Цапенко. Вынужденная мобильность и иммобильность в турбулентном мире

В.А. Ильин, А.А. Шабунова, О. Н. Калачикова. Потенциал повышения рождаемости и семейно-демографическая политика России

О.А. Козлова, В.Н. Архангельский. Прогноз рождаемости в России: подходы, гипотезы, результаты

А.В. Топилин, О.Д. Воробьёва. Демографическая ситуация и особенности формирования трудовых ресурсов в России

А.Е. Иванова, В.Г. Семёнова, Т.П. Сабгайда. Резервы снижения смертности в России, обусловленные эффективностью здравоохранения

Т.К. Ростовская, О.В. Кучмаева. Вспомогательные репродуктивные технологии глазами россиян

В.Г. Доброхлеб. Когда общество становится старше

О. И. Аполихин, А. Е. Иванова. Самосохранительное поведение семей, планирующих рождение ребёнка

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

Г.С. Голицын. Путь в науке об окружающем мире. № 1.

П.Й. Крутцен. Наши внуки, как и мы сегодня, будут жить в антропоцене. № 1.

Наука и общество

А.Л. Андреев. Историческое самосознание современного российского общества. № 4.

В.С. Арутюнов. Концепция устойчивого развития и реальные вызовы Цивилизации. № 3.

К.М. Барский, А.В. Виноградов, А.И. Салицкий. О диалектическом единстве внутренней и внешней политики Китая. *К 100-летию образования Коммунистической партии Китая*. № 8.

Б.Н. Порфирьев, Д.О. Елисеев, Д.А. Стрелецкий. Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора российской Арктики. № 2.

А.М. Сергеев. Проблемы формирования научного кадрового потенциала Российской Федерации и пути их решения. № 12.

С кафедры президиума РАН

А.Г. Арбатов. Идеи академика А.Д. Сахарова и стратегическая стабильность. №12.

Ф.Г. Войтоловский. Стратегия США в меняющемся миропорядке: вызовы для России. № 7.

Выступление заместителя Министра иностранных дел России С.А. Рябкова. № 7.

В.Н. Гарбузов. Грани американского раскола. № 7.

Ал.А. Громыко. Деэскалация напряжённости выгодна всем. № 7.

А.А. Дынкин, Е.А. Телегина. Глобализация и мировой порядок в новых реалиях постковидного мира. № 7.

Р.И. Илькаев. "Эта работа – практически война за мир". *К 100-летию со дня рождения академика А.Д. Сахарова*. № 12.

А.В. Ломанов. Глобальные последствия американо-китайского противостояния. № 7.

С.С. Попов (составитель). Опасное отставание в суперкомпьютерных технологиях необходимо преодолеть. *Обсуждение научного сообщения*. №12.

Е.В. Рудой. Развитие сельских территорий в Сибири. № 4.

Е.С. Савченко. Благополучие Нечерноземья определяет благополучие и прочность России. № 4.

И.Г. Ушачев, Л.В. Бондаренко, В.С. Чекалин. Основные направления комплексного развития сельских территорий России. № 4.

Рыцарь Российской академии наук. *К 75-летию со дня рождения академика РАН В.Е. Фортова*. № 4.

Б.Н. Четверушкин, М.В. Якобовский. О перспективах развития в России высокопроизводительных вычислений и предсказательного моделирования в современных технологиях. № 12.

Организация исследовательской деятельности

В.Н. Гуреев, А.Е. Гуськов, Н.А. Мазов. Российские учёные в мировых научных миграционных процессах. № 7.

Н.А. Дайхес. Междисциплинарный подход и новые технологии в научно-клиническом развитии оториноларингологии. № 7.

А.В. Юревич, М.А. Юревич. Мусор в науке. № 8.

К 300-летию Российской академии наук

В.Г. Ананьев, М.Д. Бухарин. Академическая наука и власть на выборах в АН СССР 1928–1929 гг. № 4.

Е.Ю. Басаргина. Премии имени А.С. Пушкина Императорской академии наук. № 8.

А.Д. Ноздрачёв, М.А. Пальцев, Е.Л. Поляков. Главное дело жизни. № 4.

Т.Я. Хабриева, В.Ю. Лукьянова. Реформирование Российской академии наук в правовом измерении. № 7.

Точка зрения

Е.В. Балацкий, Н.А. Екимова. Революция в российском сегменте международного рынка экономических журналов. № 8.

Д.И. Кондратов. Интернационализация валют в странах БРИКС. № 2.

С.В. Пирожкова. Основные особенности социокультурного статуса молодого учёного. № 3.

В.А. Румянцев, А.В. Измайлова, А.С. Макаров. Состояние озёрного фонда Арктической зоны Российской Федерации. № 2.

Д.А. Пашенцев. Конституционная соразмерность в постнеклассической научной парадигме и современной практике. № 6.

Б.Н. Порфирьев, Д.О. Елисеев, Д.А. Стрелецкий. Экономическая оценка последствий деградации многолетней мерзлоты для объектов системы здравоохранения российской Арктики. № 12.

Дискуссионная трибуна

В.В. Тараканов, В.А. Драгавцев. Российский критерий публикационной активности (проект). № 3.

Обозрение

В.Г. Варнавский. Глобальная транспортно-логистическая инфраструктура. № 2.

Т.П. Роон. В лабиринте истории и политики: советские исследования сахалинских айнов (1946–1949 гг.). № 3.

В.А. Тишков. Откуда и куда пришла российская этнология: персональный взгляд в глобальной перспективе. № 3.

А.С. Цветков. Достижения космической астрометрии. № 2.

Из рабочей тетради исследователя

В.Н. Бобков, Н.К. Долгушкин, Е.В. Одинцова. Особенности жилищной обеспеченности сельского и городского населения. № 8.

А.Ю. Ефименко, Н.И. Калинина, К.А. Рубина, Е.В. Семина, В.Ю. Сысоева, Ж.А. Акопян, В.А. Ткачук. Секретом мультипотентных мезенхимных стромальных клеток как перспективное средство лечения и реабилитации пациентов с новой коронавирусной инфекцией. № 4.

Т.Н. Журавская, Н.П. Рыжова. Призывая государство: "нелегальная" золотодобыча на Российском Дальнем Востоке. № 7.

А.Я. Зайцев, А.В. Манойло. Роль частных военных компаний в использовании технологии "облачного противника". № 2.

М.М. Назаров, Е.А. Кублицкая. Конфиденциальность в цифровой среде: установки населения. № 3.

В.П. Якушев, В.В. Якушев, С.Ю. Блохина, Ю.И. Блохин, Д.А. Матвеенко. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России. № 8.

Проблемы экологии

В.А. Кулагин, Н.В. Дунаева, Д.Д. Яковлева. Новые технологии использования биогаза как способ решения экологических проблем. № 1.

А.А. Осадчиев. Перенос и трансформация речного стока в российской Арктике. № 12.

В.И. Осипов. Что лучше – сжигать или разлагать твёрдые коммунальные отходы? № 8.

А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая. Некоторые аспекты оценки радиационной обстановки при распространении штатных выбросов АЭС. № 7.

О.Б. Поповичева, М.А. Чичаева, Н.С. Касимов. Влияние ограничительных мер во время пандемии COVID-19 на аэрозольное загрязнение атмосферы Московского мегаполиса. № 4.

А.С. Строков. Эмиссия парниковых газов при производстве растениеводческой продукции. № 3.

З.Ш. Шамсутдинов, Н.З. Шамсутдинов, Н.С. Орловский, Э.З. Шамсутдинова. Биогеоценотические принципы реставрации пастбищ в Центральноазиатской пустыне. № 3.

За рубежом

А.В. Акимов, К.А. Гемуева, Н.К. Семенова. Седьмая перепись населения в КНР: результаты и перспективы демографического развития страны. № 12.

В.С. Мирзеханов, Ф.О. Трунов. Подход ФРГ к урегулированию конфликта в Мали. № 4.

Этюды об учёных

Н.Г. Афендикова. Руководитель работ по математическому моделированию в Атомном проекте. *К 110-летию со дня рождения академика М.В. Келдыша*. № 2.

В.Е. Багно, Н.А. Тарасова. Второе академическое собрание сочинений Ф.М. Достоевского в Пушкинском Доме. *К 200-летию со дня рождения писателя.* № 12.

Ю.Ф. Голубев. Основатель научной школы в области динамики космического полёта и мехатроники. *К 100-летию со дня рождения академика Д.Е. Охоцимского.* № 8.

Ю.Б. Евдокименкова, Н.О. Соболева. Вернуть былую славу. *К 150-летию со дня рождения академика А.Е. Чичибабина.* № 7.

М.Я. Маров. Лидер в космических исследованиях – не по положению, а по призванию. *К 110-летию со дня рождения академика М.В. Келдыша*. № 2.

Е.В. Поляков, А.В. Дерябина, В.Г. Бамбуров. "Это направление становится одним из перспективных в мировой науке...". *К 95-летию со дня рождения академика Г.П. Швейкина*. № 12.

История академических учреждений

А.А. Гусейнов. Философия и общество. *К 100-летию Института философии РАН (1921–2021).* № 8.

Научная жизнь

Т.В. Богатова, Т.А. Исаченко. Современная лексикография сквозь время и пространство. № 4.

А.И. Костяев, В.Н. Суровцев, А.Л. Ронжин. Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство. № 12.

Размышления над новой книгой

Р.Х. Сулейманов. Крупный вклад в науку о каменном веке Евразии. № 7.

Е.Я. Фрисман. Куда эволюционирует национальная наука? № 3.

В мире книг

Рецензируется: А.В. Островский. Китай становится экономической сверхдержавой. № 2.

В конец номера

С.Т. Захидов. О нанотехнологиях в системе наук. № 3.

О.В. Михайлов. О квартильном ранжировании научных журналов. № 12.

Официальный отдел

Награды и премии

Большая золотая медаль Российской академии наук имени М.В. Ломоносова 2020 года – С.П. Новикову, Д.У. Милнору (США). № 2.

Золотая медаль имени К.А. Валиева 2020 года – А.Л. Асееву. № 4.

Золотая медаль имени Т.С. Мальцева 2020 года – А.Н. Власенко. № 3.

Золотая медаль имени В.С. Пустовойта 2021 года – Я.Н. Демурину. № 12.

Золотая медаль имени И.В. Мичурина 2020 года – С.Н. Евдокименко. № 4.

Золотая медаль имени Н.С. Курнакова 2020 года – Ю.А. Золотову. № 3.

Золотая медаль имени И.Е. Тамма 2020 года – К.П. Зыбину. № 3.

Золотая медаль имени П.Н. Лебедева 2021 года – А.А. Каплянскому. № 12.

Золотая медаль имени В.В. Докучаева 2021 года – В.И. Кирюшину. № 12.

Золотая медаль имени Н.Н. Бурденко 2021 года – В.В. Крылову. № 12.

Золотая медаль имени Н.Г. Басова 2020 года – Ю.Н. Кульчину. № 4.

Золотая медаль имени М.М. Сперанского 2020 года – В.В. Мартыненко. № 3.

Золотая медаль имени А.Д. Сахарова 2021 года – В.Ф. Муханову. № 12.

Золотая медаль имени Я.Б. Зельдовича 2020 года – Ю.П. Райзеру. № 3.

Золотая медаль имени Л.В. Келдыша 2021 года – В.Б. Тимофееву. № 12.

Золотая медаль имени И.П. Павлова 2021 года – В.А. Ткачуку. № 4.

Золотая медаль имени А.П. Карпинского 2021 года – М.А. Федонкину. № 4.

Золотая медаль имени В.М. Клечковского 2020 года – С.В. Фесенко. № 4.

Золотая медаль имени Н.Н. Семёнова 2021 года – В.Е. Фортову. № 12.

Золотая медаль имени М.В. Келдыша 2021 года – Б.Н. Четверушкину. № 12.

Международная энергетическая премия “Глобальная энергия” 2020 года – К. Руббиа (Италия), Ян Пэйдун (Калифорния), Н. Хатциаргириу (Афины). № 2.

Премия имени П.П. Аносова 2020 года – М.И. Алымову. № 4.

Премия имени Н.Д. Зелинского 2020 года – В.П. Ананикову. № 4.

Премия имени Г.М. Кржижановского 2020 года – В.М. Батенину, В.В. Бушуеву и Н.И. Воропаю. № 4.

Премия имени П.А. Черенкова 2020 года – А.Е. Бондарю, А.Ю. Гармашу и Р.В. Мизюку. № 4.

Премия имени Н.Н. Миклухо-Маклая 2020 года – А.А. Бурыкину, В.А. Попову. № 3.

Премия имени В.С. Немчинова 2020 года – А.Е. Варшавскому. № 3.

Премия имени В.И. Векслера 2021 года – С.А. Гаврилову, В.А. Гайдашу, А.В. Фещенко. № 12.

Премия имени В.А. Обручева 2020 года – Д.П. Гладкочубу, Т.В. Донской, Е.В. Склярову. № 3.

Премия имени В.Л. Комарова 2020 года – А.С. Зернову. № 4.

Премия имени А.А. Бочвара 2020 года – М.Е. Исаенковой. № 12.

Премия имени Л.И. Мандельштама 2021 года – А.М. Камчатнову. № 12.

Премия имени С.О. Макарова 2020 года – Г.К. Коротаеву. № 4.

Премия имени А.А. Фридмана 2020 года – В.Г. Курту. № 3.

Премия имени А.Ф. Кони 2021 года – В.В. Лазареву. № 12.

Премия имени Д.Н. Прянишникова 2020 года – С.В. Лукину. № 4.

Премия имени А.Д. Архангельского 2020 года – М.В. Лучицкой. № 3.

Премия имени С.Л. Рубинштейна 2020 года – В.А. Мазилову, И.А, Мироненко, Т.П. Емельяновой. № 3.

Премия имени Л.В. Канторовича 2020 года – В.Л. Макарову, А.Р. Бахтизину, Е.Д. Сушко. № 3.

Премия имени В.О. Ключевского 2021 года – Б.Н. Миронову. № 12.

Премия имени А.Н. Северцова 2020 года – Е.М. Первушову. № 4.

Премия имени И.С. Шкловского 2020 года – М.В. Сажину, Д.П. Скулачёву, И.А. Струкову. № 3.

Премия имени А.Н. Веселовского 2020 года – А.В. Сиренову, Г.В. Маркелову. № 3.

Премия имени А.П. Виноградова 2020 года – А.В. Соболеву. № 5.

Премия имени К.Э. Циолковского 2020 года – В.А. Соловьёву, С.В. Борзых и В.Н. Бакулину. № 5.

Премия имени И.В. Гребенщикова 2021 года – М.М. Сычёву. № 12.

Премия имени К.И. Скрябина 2020 года – Н.Б. Терениной. № 3.

Премия имени Ф.А. Цандера 2020 года – А.А. Тихонову. № 8.

Премия имени А.Ф. Иоффе 2020 года – А.В. Чаплику. № 8.

Премия имени П.А. Ребиндера 2019 года – А.К. Щёкину, А.Е. Кучме. № 3.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Адамов Е.О.	5	450
Ананьев В.Г.	4	380
Андреев А.Л.	4	335
Акимов А.В.	12	1144
Акопян Ж.А.	4	344
Арбатов А.Г.	6	560
	12	1104
Арутюнов В.С.	3	205
Асмолов В.Г.	5	450
Афендикова Н.Г.	2	190
Багно В.Е.	12	1157
Балацкий Е.В.	8	734
Бамбуров В.Г.	12	1170
Барский К.М.	8	703
Басаргина Е.Ю.	8	713
Блохин Ю.И.	8	755
Блохина С.Ю.	8	755
Бобков В.Н.	8	745
Богатова Т.В.	4	387
Большов Л.А.	5	450
Бондаренко Л.В.	4	316
Бухарин М.Д.	4	380
Варнавский В.Г.	2	157
Велихов Е.П.	5	470
Виноградов А.В.	8	703
Войтоловский Ф.Г.	7	616
Гаранин С.Г.	5	435
Гарбузов В.Н.	7	627
Гарнов С.В.	5	435
Гемуева К.А.	12	1144
Голицын Г.С.	1	69
Голубев Ю.Ф.	8	793
Громыко Ал.А.	7	633
Гуреев В.Н.	7	648
Гусейнов А.А.	8	779
Гуськов А.Е.	7	648
Дайхес Н.А.	7	660
Дерябина А.В.	12	1170
Долгушкин Н.К.	1	53
	8	745
	10	956
Драговцев В.А.	3	253
Драгунов Ю.Г.	6	520
Дуб А.В.	5	479
Дунаева Н.В.	1	87
Дынкин А.А.	7	642
Евдокименкова Ю.Б.	7	695
Екимова Н.А.	8	734
Елисеев Д.О.	2	105
	12	1125
Ефименко А.Ю.	4	344
Журавская Т.Н.	7	667
Зайцев А.Я.	2	167
Захидов С.Т.	3	289
Иванов В.К.	5	450
Измайлова А.В.	2	115
Ильгисонис В.И.	5	470
Ильин Л.А.	6	550
Илькаев Р.И.	5	414
	5	422
	12	1098
Исаченко Т.А.	4	387
Калинина Н.И.	4	344
Калмыков С.Н.	5	459
Каприн А.Д.	6	541
Касимов Н.С.	4	351
Кондратов Д.И.	2	127
Костяев А.И.	12	1179
Крутцен П.Й.	1	82
Кублицкая Е.А.	3	257
Кулагин В.А.	1	87
Лебедев С.Н.	5	446
Ломанов А.В.	7	635
Лукьянова В.Ю.	7	603
Мазов Н.А.	7	648
Макаров А.С.	2	115
Манойло А.В.	2	167
Маров М.Я.	2	174
Матвеенко Д.А.	8	755
Мирзеханов В.С.	4	362
Михайлов О.В.	12	1183
Мясоедов Б.Ф.	5	459

Назаров М.М. 3 257
Ноздрачев А.Д. 4 370

Одинцова Е.В. 8 745
Орловский Н.С. 3 273
Осадчиев А.А. 12 1137
Осипов В.И. 8 769

Пальцев М.А. 4 370
Пашенцев Д.А. 6 593
Переволоцкая Т.В. 7 677
Переволоцкий А.Н. 7 677
Петрунин В.В. 6 528
Пирожкова С.В. 3 243
Поляков Е.В. 12 1170
Поляков Е.Л. 4 370
Пономарёв-Степной Н.Н. 5 484
Попов С.С 12 1115
Поповичева О.Б. 4 351
Порфирьев Б.Н. 2 105
12 1125

Рогов С.М. 6 571
Ронжин А.Л. 12 1179
Роон Т.П. 3 232
Рубина К.А. 4 344
Рудой Е.В. 4 329
Рудской А.И. 5 479
Румянцев В.А. 2 115
Рыжова Н.П. 7 667
Рыкованов Г.Н. 5 422
Рябев Л.Д. 5 414

Савченко Е.С. 4 326
Салицкий А.И. 8 703
Самойлов А.С. 6 550
Саркисов А.А. 6 503
Селемир В.Д. 5 422
Семенова Н.К. 12 1144
Семина Е.В. 4 344
Сергеев А.М. 1 3
5 435
10 916
11 1003
12 1093

Смирнов В.П. 6 541
Соболева Н.О. 7 695
Стрелецкий Д.А. 2 105
12 1125
Строков А.С. 3 265
Сулейманов Р.Х. 7 687
Суровцев В.Н. 12 1179
Сысоева В.Ю. 4 344

Тараканов В.В. 3 253
Тарасова Н.А. 12 1157
Телегина Е.А. 7 642
Тишков В.А. 3 215
Ткачук В.А. 4 344
Трунов Ф.О. 4 362

Ушачев И.Г. 4 316

Фортов В.Е. 5 422
Фрисман Е.Я. 3 283

Хабриева Т.Я. 7 603
Хазанов Е.А. 5 435

Цветков А.С. 2 142

Чекалин В.С. 4 316
Четверушкин Б.Н. 5 446
12 1108
Чичаева М.А. 4 351
Шагалиев Р.М. 5 446
Шадрин А.Ю. 5 459
Шарков Б.Ю. 5 422
Шамсутдинов З.Ш. 3 273
Шамсутдинов Н.З. 3 273
Шамсутдинова Э.З. 3 273

Юревич А.В. 8 724
Юревич М.А. 8 724

Яковлева Д.Д. 1 87
Якобовский М.В. 12 1108
Якушев В.В. 8 755